

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Přemysl Lisník**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Zefektivnění výroby obrábění hřídelí elektrických generátorů v podmínkách OSTROJ a.s.**
Effectivity Production Machining of Shafts of Electric Generators in the Conditions of OSTROJ a.s

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současného stavu obrábění hřídelí elektrických generátorů.
2. Teoretické zákonitosti třískového obrábění a jejich respektování.
3. Efektivní využívání současných řezných nástrojů.
4. Návrh progresivní technologie obrábění hřídelí elektrických generátorů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
[2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábění*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
[4] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2003, 150 s. ISBN 80-248-0237-6.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE

**ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ ELEKTRICKÝCH GENERÁTORŮ
V PODMÍNKÁCH OSTROJ A.S.**

**EFFECTIVITY PRODUCTION MACHINING OF SHAFTS OF ELEKTRIC
GENERATORS IN THE CONDITIONS
OF OSTROJ A.S.**

Student: Bc. Přemysl Lisník

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Josef Brychta

OSTRAVA 2011

Diplomová práce

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011


.....


podpis studenta

Diplomová práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23. května 2011


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Přemysl Lisník

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Náhonu 2430/1, Opava

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LISNÍK, P. *Zefektivňování výroby obrábění hřídelí elektrických generátorů v podmínkách OSTROJ a.s.: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 85 s. Vedoucí: Brychta, J.

Diplomová práce se zabývá zefektivněním obrábění hřídelí elektrických generátorů. Je zaměřena na technologii soustružení, vrtání, frézování a řezání závitů. V úvodní části je probrána současná technologie výroby hřídelí. Na základě srovnání jednotlivých technologií je navržen nový technologický postup výroby hřídelí s využitím progresivnějších nástrojů. Nový postup výroby hřídelí sjednocuje operaci II. - Zarovnání a navrtání a IV. - Soustružení do jedné operace. Tato operace se provádí na CNC horizontálním centru MCFHD 80 PVS s využitím progresivnějších nástrojů. V operaci III. - Soustružení na CNC stroji nahrazují stávající vyměnitelné břitové destičky destičkami progresivnějšími. V operaci V. – CNC Frézování drážek navrhuji změnu strategie obrábění drážek s použitím frézy o $\phi 17,7$.

ANOTATION OF MASTER THESIS

LISNÍK, P. *Effectivity Improvement of Production in Machining of Shafts of Electric Generators in the Conditions of OSTROJ Inc.: Master Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Shap and Fitting, 2011, 85 p. Thesis head: Brychta, J.

Master thesis deals with effectivity in machining of shafts of electric generators. The thesis focuses on the technology of turning, dribbling, milling and cutting of the thread. The introduction compares the current technology of machining of the shaft. Based on a comparison of each technology, the new technological process for the shaft production is suggested using progressive tools. The new manufacturing process unites the operation II. – “Alignment and drilling” and IV. – “Turning” into one operation. This operation is performed on CNC horizontal center MCFHD 80 PVS using progressive tools. In the operation III. – “Turning” on CNC machine the author replaces the existing blade discs and inserts more progressive. The operation V. – “CNC milling grooves” the author suggests a change of strategy with the use of slot machines on the $\phi 17.7$ mill.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH..... | 5 |
| SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ | 7 |
| ÚVOD | 11 |
| 1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ ELEKTRICKÝCH GENERÁTORŮ | 12 |
| 1.1 OSTROJ A.S. | 12 |
| 1.2 SOUČÁST – VÝROBEK..... | 15 |
| 1.3 HŘÍDEL..... | 17 |
| 1.4 MATERIÁL HŘÍDELE | 17 |
| 1.5 POLOTOVAR | 18 |
| 1.6 TECHNOLOGIE VÝROBY HŘÍDELÍ..... | 19 |
| 1.7 ZAROVNÁNÍ, NAVRTÁNÍ - OPERACE II. | 19 |
| 1.8 SOUSTRUŽENÍ - OPERACE III..... | 21 |
| 1.9 SOUSTRUŽENÍ - OPERACE IV. | 23 |
| 1.10 FRÉZOVÁNÍ - OPERACE V..... | 25 |
| 1.11 BROUŠENÍ - OPERACE VI. | 27 |
| 2. TEORETICKÉ ZÁKONITOSTI TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ A JEJICH RESPEKTOVÁNÍ. | 28 |
| 2.1 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI A OBROBITELNOSTI. | 28 |
| 2.2 ABRAZE | 28 |
| 2.3 ADHEZE | 29 |
| 2.4 DIFÚZE | 30 |
| 2.5 OXIDACE..... | 30 |
| 2.6 KŘEHKÝ LOM | 31 |
| 2.7 PLASTICKÁ DEFORMACE | 32 |
| 2.8 TRVANLIVOST ŘEZNÉHO NÁSTROJE | 33 |
| 2.9 ŽIVOTNOST ŘEZNÉHO NÁSTROJE | 34 |
| 2.10 ŘEZIVOST NÁSTROJE..... | 34 |
| 2.11 OBROBITELNOST MATERIÁLU | 34 |
| 2.12 OBRÁBĚNÉ MATERIÁLY | 36 |
| 3. EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ SOUČASNÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ..... | 39 |
| 3.1 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ - HSC | 39 |
| 3.2 VZNIK TŘÍSKY | 39 |
| 3.3 UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE HSC..... | 41 |
| 3.4 ZDROJE NESTABILITY SOUSTAVY | 41 |
| 3.5 ŘEZNÉ NÁSTROJE | 42 |
| 3.6 TEPELNÉ UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ..... | 43 |
| 3.7 SYSTÉM ISCAR BALANCIN | 44 |
| 3.8 HSC STROJE | 45 |
| 4. NÁVRH PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ ELEKTRICKÝCH GENERÁTORŮ | 49 |
| 4.1 SOUČASNÉ TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PRO OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ | 49 |
| 4.2 NÁVRH PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY POLOTOVARU PRO CNC SOUSTRUŽENÍ..... | 49 |
| 4.3 ZEFEKTIVNĚNÍ FRÉZOVÁNÍ | 59 |
| 4.4 ZEFEKTIVNĚNÍ SOUSTRUŽENÍ | 60 |

Diplomová práce

| | |
|--|-----------|
| 5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ..... | 62 |
| 5.1 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ SLOUČENÝCH OPERACÍ II. A IV..... | 62 |
| 5.2 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ OPERACE – FRÉZOVÁNÍ | 66 |
| 5.3 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ OPERACE – SOUSTRUŽENÍ..... | 68 |
| 5.4 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ | 70 |
| 5.5 ZHODNOCENÍ TECHNICKO - EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU | 73 |
| ZÁVĚR..... | 74 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 76 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 77 |

Seznam použitého značení

| Symbol | Jednotky | Význam |
|-----------------|----------|---|
| C_d | [Kč] | Cena nástroje |
| C_E | [Kč] | Náklady na energii |
| C_{kW} | [Kč] | Cena kilowaty |
| C_T | [-] | Konstanta |
| C_V | [-] | konstanta |
| D | [mm] | Průměr |
| D_s | [Kč] | Náklady na jednu hodinu práce obráběcího stroje |
| $F_{\check{c}}$ | [-] | Počet odpracovaných hodin za rok |
| F_f | [N] | Posuvová složka síly při vrtání |
| F_p | [N] | Složka síly působící na příčné ostří |
| F_o | [N] | Výsledná osová síla |
| F_t | [N] | Třecí složka síly při vrtání |
| L_p | [mm] | Délka polotovaru |
| L | [mm] | Délka součásti |
| M_k | [N.m] | Kroutící moment |
| M_o | [Kč] | Mzda seřizovače |
| N_{hs} | [Kč] | Hodinové náklady na provoz CNC stroje |
| N_{nS} | [Kč] | Hodinové náklady na údržbu a seřízení stroje |
| N_{nT} | [Kč] | Náklady na nástroj vztažené na 1 trvanlivost |

Diplomová práce

| | | |
|------------------|-------|---|
| $N_{OII.}$ | [Kč] | Náklady na II. operaci |
| $N_{OIV.}$ | [Kč] | Náklady na IV. operaci |
| N_{ON} | [Kč] | Náklady na sdruženou navrhovanou operaci |
| $N_{O\phi 16}$ | [Kč] | Náklady na frézování drážky nástrojem o $\phi 16$ |
| $N_{O\phi 17,7}$ | [Kč] | Náklady na frézování drážky nástrojem o $\phi 17,7$ |
| N_{OMIT} | [Kč] | Náklady na soustružení destičkou Mitsubishi |
| N_{OKEN} | [Kč] | Náklady na soustružení destičkou Kennametal |
| N_U | [Kč] | Rozdíl nákladů na původní a navrhovanou technologii |
| N_p | [Kč] | Pořizovací cena břitové destičky |
| N_{sm} | [Kč] | Náklady na strojní práci |
| N_T | [Kč] | Náklady na jednu trvanlivost nástroje |
| P | [mm] | Rozteč závitu |
| $P_{nč}$ | [mm] | Přídavky na obrábění hřídele |
| P_p | [kW] | Příkon stroje |
| T | [min] | Aritmetický průměr hodnot T_I |
| T_I | [min] | Trvanlivost jednotlivých ostří destičky |
| T_{C-f} | [min] | Čas frézování čel tyčových polotovarů |
| T_{C-M16} | [min] | Čas řezání závitu M16 |
| T_{C-M20} | [min] | Čas řezání závitu M20 |
| T_{CV-M16} | [min] | Čas vrtání M16 dle DIN 332 form D |

Diplomová práce

| | | |
|--------------|----------------------|---|
| T_{CV-M20} | [min] | Čas vrtání M20 dle DIN 332 form D |
| T_{CO-N} | [min] | Čas navrhované technologie výroby |
| T_{CO-S} | [min] | Čas stávající technologie výroby (II. a IV. operace) |
| T_{C-fs} | [min] | Čas frézování drážky současným nástrojem |
| T_{C-fN} | [min] | Čas frézování drážky navrhovaným nástrojem |
| T_{C-ss} | [min] | Čas soustružení současnou břitovou destičkou |
| T_{C-sN} | [min] | Čas soustružení navrhovanou břitovou destičkou |
| V_{RD} | [Kč] | Výrobní režie |
| VBD | [-] | Vyměnitelná břitová destička |
| a_p | [mm] | Hloubka řezu |
| c_{Fx} | [-] | Konstanta určená druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| c_{Fz} | [-] | Konstanta určená druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| f | [mm] | Posuv |
| f_z | [mm] | Posuv na zub |
| k_c | [-] | Koeficient výpočtu ceny ostření nástroje |
| l | [mm] | Délka |
| m_{1Ks} | [kg] | Váha 1 kusu polotovaru hřídele |
| n | [min ⁻¹] | Počet otáček |
| q | [-] | Počet použitelných ostří vyměnitelné břitové destičky |
| r | [mm] | Prořez |

Diplomová práce

| | | |
|----------|------------|--|
| S_b | [-] | Součinitel možností zničení břitu |
| S_m | [-] | Směnnost |
| v_c | [m.min-1] | Řezná rychlost |
| v_f | [mm.min-1] | Posuvová rychlost |
| y_{Fx} | [-] | exponent určený druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| y_{Fz} | [-] | exponent určený druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| z_{Fx} | [-] | exponent určený druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| z_{Fz} | [-] | exponent určený druhem a vlastnostmi obráběného materiálu a geometrií nástroje |
| x | [mm] | Šířka řezu |
| y | [mm] | Přídavek na šikmý prořez + otřepy |
| z_b | [-] | Počet zubů |
| η_s | [-] | Vytíženost |
| π | [-] | Ludolfovo číslo |

Úvod

Úkolem této diplomové práce je zefektivnění současné technologie obrábění hřídelí za novou progresivní technologii. Zefektivnění výroby se týká úpravy současné technologie výroby a nahrazení stávajících řezných nástrojů.

Cíle diplomové práce:

1. Zproduktivnit výrobu zkrácením výrobních strojních časů pro:

- Soustružení;
- Vrtání;
- Řezání závitů;
- Frézování;

2. Zkvalitnit a zpřesnit výrobu hřídelí;

3. Docílit vyšších ekonomických ukazatelů;

1. Přehled současného stavu obrábění hřídelí elektrických generátorů

1.1 Ostroj a.s.

Historie Opavského Ostroje sahá až do roku 1878. Tehdy Eduard Tatzel založil firmu pod názvem Opavská strojírna a slévárna. Výrobním programem byla výroba parních strojů, kotlů a lokomobilů atd.. Firma nevídaně prosperovala až do komunistické konfiskace. Dne 30.4.1948 byla její majetková podstata začleněna do n.p. Sigma pumpy v Olomouci.

V květnu roku 1949 si firma zaregistrovala ochrannou známku OSTROJ. Výrobní programem se stalo těžní zařízení pro důlní průmysl. Postupem času se výrobní sortiment Ostroje rozrostl o další výrobky pro těžbu uhlí pod povrchem.

V současné době Ostroj, nyní už jako akciová společnost, je největší výrobce důlních strojů pro těžbu a zpracování nerostných surovin, zejména uhlí v České republice. Důlní stroje jsou výrobním programem s nejstarší tradicí a oborem, ve které má firma největší vývojové a výrobní zkušenosti.

Jednotlivé stroje a zařízení pro důlní průmysl jsou složeny z velkého množství komponent, které se od sebe liší nejenom velikostí, ale také i způsobem výroby. Z tohoto důvodu v podniku vznikly jednotlivé divize, které se specializují na určitý sortiment dílců.

Rozdělení Ostroje a.s.:

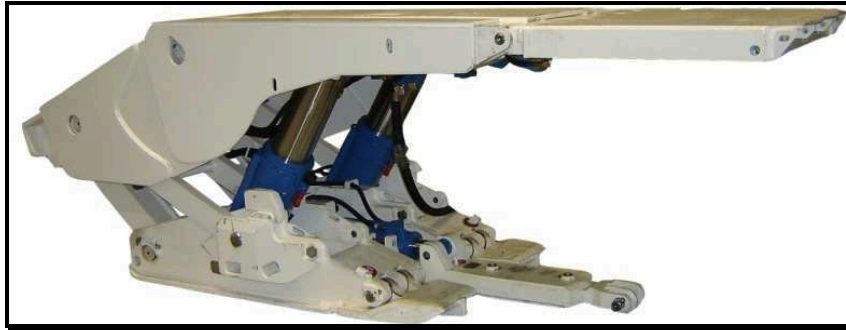
- Divize důlní stroje;
- Divize strojírna;
- Divize nástrojárna;
- Divize galvanovna;
- Divize kovárna a kalárna;
- Divize hydraulika;

1.1.1 Divize Důlní stroje

Hlavním výrobním artiklem Ostroje a.s. je stále zařízení pro hlubinné dobývání. Ve výrobním programu divize Důlní stroje najdete široký sortiment důlních zařízení

Diplomová práce

pro všechny podmínky dobývání v hlubinných dolech. Jsou to především mechanizované výztuže, hřeblové a pásové dopravníky, pluhové dobývací soupravy, individuální hydraulické stojky, hydraulické válce a další komponenty hydrauliky.



Obr. 1. Mechanizovaná výztuž Ostroj 07/16



Obr. 2. Mechanizovaná výztuž Ostroj 17/37HD

1.1.2 Divize Strojárna

Tato divize je tradičním výrobcem složitých svařenců do hmotnosti 10 tun, délky 10 metrů a šířky 3 metry. Kromě svařování MIG, MAG je zajišťováno opracování těchto dílů a prováděn jejich konečný nátěr.

1.1.3 Divize Nástrojárna

Divize Nástrojárna se řadí mezi špičkové dodavatele v oblasti lisovacích nástrojů, kovárenského nářadí, nízkotlakých i vysokotlakých forem na hliník, gumu a plasty, dále přípravků, opracování dle požadavků zákazníka a měření na 3-D měřícím centru. Specializací divize je výroba nástrojů a forem na výrobu kol pro automobilový průmysl a výroba kovacích zápuštěk.

1.1.4 Divize Galvanovna

Tato divize se specializuje na povrchovou úpravu menších dílců. Jedná se o zinkování, chromování pro technické účely či plastování.

1.1.5 Divize kovárna a kalírna

Výrobním programem části divize kovárna je produkce zápusťkových výkovků váhové kategorie 0,1-30 kg.

Výrobním programem provozu kalírna je např. žíhání (normalizační, naměkko, rozpouštěcí, na snížení pnutí, BG žíhání), kalení a zušlechtění, povrchové a indukční kalení a cementování v plynné atmosféře.

1.1.6 Divize Hydraulika

Divize je zaměřena na technologii obrábění, svařování – navařování a montáží vyráběných celků. Tato výrobní část podniku Ostroj a.s. se zabývá především výrobou hydraulických válců, kompletních převodových skříní, ale také hydraulického ovládání pro mechanické výztuže. Výrobní kapacity divize jsou doplněny o výrobu komponent pro hydro motory a hřídele pro elektricky točivé stroje – generátory.



Obr. 3. Ostroj a.s. Opava

1.2 Součást – výrobek

V současné době stále roste poptávka po elektrické energii. Na tento podnět reagují firmy zabývající se výrobou strojů na výrobu elektřiny – generátorů, alternátorů.

Elektrický generátor je elektrický stroj, sloužící k přeměně jiných druhů energie na energii elektrickou. Nejčastěji se jedná o rotační respektive točivé stroje, které využívají točivého magnetického pole a cívek, ve kterých se indukuje elektrické napětí. Tyto stroje se používají nejvíce jako generátory, protože mohou být dimenzované na velké výkony s dobrou účinností. Obecně můžeme říct, že se skládají ze dvou hlavních částí:

- Stator;
- Rotor;

Stator je stacionární část alternátoru. Skládá se z pláště, který je pevně ukotven k nosné plošině alternátoru. Důvodem je jeho odolnost vůči velkému momentu síly. Jádru statoru je složeno z tenkých izolovaných plechů, v jehož drážkách je uloženo fázové vinutí cívek. Konce cívek jsou vyvedeny na svorkovnici.

Rotor je v podstatě elektromagnet uložený na ose – hřídeli alternátoru. Je tvořen nalisovanými plechy s vinutím.

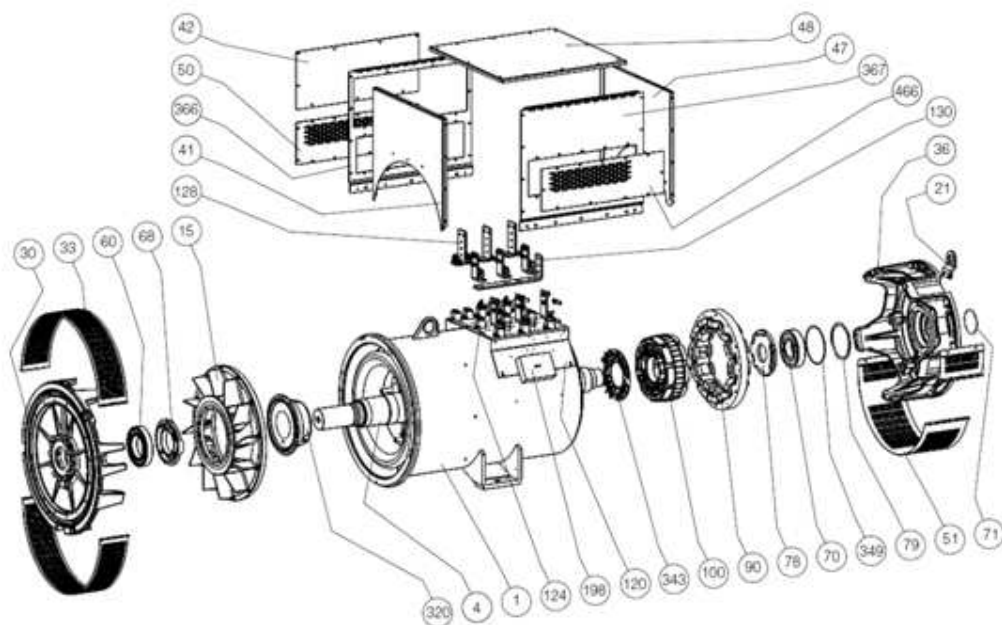


Obr. 4. Rotor



Obr. 5. Stator

Alternátor - stator a rotor jako celky jsou složeny z mnoha součástí. Při výrobě těchto jednotlivých komponent je využíváno různých technologií výroby – tváření, slévání, obrábění. Tato Diplomová práce je zaměřena na zefektivnění výroby obrábění osových součástí alternátoru – hřídele.



Obr. 6. Alternátor – rozklad

Tabulka 1. Kusovník alternátoru

| číslo | počet | Název | číslo | počet | Název |
|-------|-------|--|-------|-------|-----------------------|
| 1 | 1 | Stator | 78 | 1 | Vnitřní kroužek |
| 4 | 1 | Rotor | 79 | 1 | Vlnitá podložka |
| 15 | 1 | Ventilátor | 90 | 1 | Budicí pole |
| 21 | 1 | Zvedací kroužek | 100 | 1 | Budicí armatura |
| 30 | 1 | Pohon štítu | 120 | 1 | Podstavec terminálu |
| 33 | 1 | Ochranná mřížka | 124 | 1 | Terminál |
| 36 | 1 | Budiče štítu | 128 | 3 | Svorky napětí |
| 41 | 1 | Kryt na předním panelu | 130 | 1 | Svorka nulák |
| 42 | 1 | Kabel.Průchodka plechu | 198 | 1 | Regulátor AVR |
| 47 | 1 | Svorkovnice zad. Víka | 320 | 1 | hub |
| 48 | 1 | Svorkovnice víko | 343 | 1 | Diodový můstek |
| 50 | 1 | Inspekční dveře | 349 | 1 | O kroužek těsnění |
| 51 | 1 | Přívod vzduchu mřížkou | 365 | 1 | Svorkovnice zad. víka |
| 60 | 1 | DE ložisko | 366 | 1 | Svorkovnice p. víka |
| 68 | 1 | Vnitřní kroužek | 466 | 1 | AVR inspekční dveře |
| 367 | 1 | Svorkovnice boční + víko s inspekt. Dvěřmi | | | |

1.3 Hřídel

Hřídele se vyrábí ve velkém množství. Pro demonstraci zefektivnění výroby vybírám typ, který svými geometrickými vlastnostmi – rozměry nejlépe charakterizuje představitele výroby. Jedná se o představitele o rozměrech $\phi 140 - 1085$ [mm] z materiálu C45E. Výkres součásti je uveden jako příloha A.

1.4 Materiál hřídele

Materiál hřídele je předepsán konstrukcí – C45E – 1.1191 – 12050

Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechtěném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná k povrchovému kalení plamenem nebo indukci. Pro nás důležitou vlastností je její dobrá obrobitelnost třískovým obráběním. V našem případě je tato ocel normalizačně žíhaná.

Tabulka 2. Vlastnosti materiálu

| | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------|-------------------------|----------------------|-------|------------------|------------------------------------|----------|----------------------|
| Chemické složení v % | C | Si max. | Mn | P max. | S max | Cr max. | Mo max. | Ni max. | Cr+Mo+Ni max. |
| | 0,42-0,50 | 0,40 | 0,50-0,80 | 0,030 | 0,035 | 0,40 | 0,10 | 0,40 | 0,63 |
| Slož. hotového výrobku | 0,40-0,52 | 0,43 | 0,46-0,84 | 0,035 | 0,040 | 0,45 | 0,13 | 0,45 | |
| Mech. vlastnosti stav zušlechtěný | Průměr mm | | Re min. MPa | Rm MPa | | A min. % | | Z min. % | KV min. J |
| | d ≤ 16 | | 490 | 700-850 | | 14 | | 35 | - |
| | 16<d ≤ 40 | | 430 | 650-800 | | 16 | | 40 | 25 |
| | 40<d ≤ 100 | | 370 | 630-780 | | 17 | | 45 | 25 |
| Mechanické vlastnosti stav normalizač. žíhaném | d ≤ 16 | | 340 | min. 620 | | 14 | | - | - |
| | 16<d ≤ 100 | | 305 | 580 | | 16 | | - | - |
| | 100<d ≤ 250 | | 275 | 560 | | 16 | | - | - |
| | d ≤ 16 | | 340 | min. 620 | | 14 | | - | - |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav: | Zpracováno na stíhatelnost (+S) | | | Žíháno na měkko (+A) | | | Povrchově kaleno (tvrdost povrchu) | | |
| | HB max. 255 | | | HB max. 207 | | | HRC min. 55 | | |
| Technologické vlastnosti | | | | | | | | | |
| Tváření za tepla | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C | | | | | | | | |
| Tepelné zpracování [°C] | Normalizač. žíhání [°C] | Žíhání na měkko | Isotermické žíhání [°C] | Teplota Kalení [°C] | | Kalicí prostředí | Teplota popouštění [°C] | | Zk. kalení čela [°C] |
| | 840 - 880 | 650 - 700 | 800 - 950 660-1hod. | 820 - 860 | | Voda olej | 550 - 660 | | 850 ± 5 |

1.5 Polotovar

Stanovení délky polotovaru L_p :

$$L_p = r + 2 \cdot Pn\check{c} + L \quad (1.1)$$

$Pn\check{c}$ – přídavky na obrábění – 3 [mm];

L – délka součásti – 1085 [mm];

r – prořez materiálu

Prořez materiálu r :

$$r = x + y \quad (1.2)$$

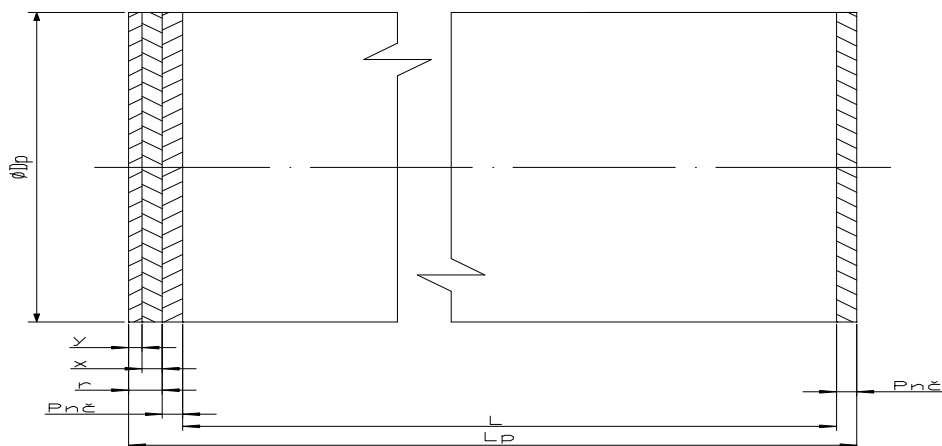
x – vlastní řez – 3 [mm];

y – přídavek na šikmý prořez + otřepy – 2 [mm];

$$L_p = r + 2 \cdot Pn\check{c} + L = 5 + 2 \cdot 3 + 1085 = 1096 [mm] \quad (1.3)$$

Stanovení ϕ polotovaru ϕD_p

Přídavek na průměr volím jako nejbližší vyšší průměr zaokrouhlený na desítky než je největší průměr opracované hřídele $\phi 139_{-0,5}$ [mm] $\Rightarrow \phi 140$ [mm]; Tento průměr volím z důvodu, že $\phi 139_{-0,5}$ [mm] nemusí být čistě opracován, ale také i z důvodu ceny výrobku.



Obr. 7. Polotovar

Váha 1 ks. polotovaru

$$\begin{aligned}m_{1ks} &= V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \\m_{1ks} &= \frac{\pi \cdot 0,14^2}{4} \cdot 1,096 \cdot 7850 \\m_{1ks} &= 132,45 \doteq 133[kg]\end{aligned}\tag{1.4}$$

Polotovár je tedy C45E ϕ 140 – 1096 – 133 kg

1.6 Technologie výroby hřídelí

Hřídele se podle stávajícího technologického postupu vyrábějí v osmi operacích. Jednotlivé operace jsou zaměřeny na konkrétní technologii a logicky na sebe navazují.

- I. operace – Dělení materiálu;
- II. operace – Frézování čel polotovaru + navrtání středících důlků B6,3;
- III. operace – Soustružení;
- IV. operace – Soustružení;
- V. operace – Frézování;
- VI. operace – Broušení;
- VII. operace – Ruční úprava;
- VIII. operace – Kontrola;

V případě, že nebudu uvažovat I. operaci, která se týká dělení materiálu a operaci VII. a VIII., která se týká ruční úpravy a kontroly, hřídel se vyrábí v V. výrobních operacích s použitím konvenčních obráběcích strojů.

1.7 Zarovnání, Navrtání - operace II.

Operace je zaměřena na přípravu polotovaru pro výrobu na CNC strojích. Provádí se v ní zarovnání obou čel polotovaru frézováním na konkrétní délku. V našem případě se jedná o délku 1087 [mm]. Materiál je dále v této operaci navrtán středovými otvory B6,3 do osy válcového polotovaru.

Celá tato operace se provádí na konvenčním zarovnávacím a navrtávacím stroji SABO Basis 160. Výrobce stroje je německá firma Heckert.

Základní technické parametry stroje:

Pracovní oblast:

- Maximální průměr zarovnávání: 160 [mm];
- Minimální průměr zarovnávání: 30 [mm];
- Maximální délka zarovnávání: 2200 [mm];
- Minimální délka zarovnávání: 150 [mm];

Vřeteno:

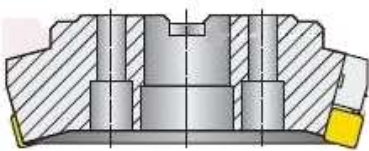

- Rozsah otáček frézovacího vřetena 112, 180, 280 [ot.min⁻¹];
- Rozsah otáček vrtacího vřetena 560, 900, 1400 [ot.min⁻¹];
- Výkon hlavního motoru 15 [kw];
- Maximální průměr frézy $\phi 200$ [mm];
- Maximální průměr vrtacího nástroje $\phi 15$ [mm];
- Elektromotor pro pohon vřeteníku 10 [kw];
- Hmotnost stroje 7500 [kg];

Použité nástroje

Pro zarovnání čel jsou použity čelní 10 zubé frézy typu 200C10R-W75SP15D. Tento nástroj je osazen VBD – SPKN 1504EDSR, jakost 8240. Výrobce frézy je Pramet tools s.r.o.

Vrtání čelních otvorů je provedeno navrtávacím vrtákem s označením B6,3, dle ČSN 22 1110.

Tabulka 3. Použité nástroje

| Nástroj | Schéma | Řezné podmínky |
|------------------|--|---|
| 200C10R-W75SP15D |  | $n = 180$ [m.min ⁻¹] $f_z = 0,25$ [mm] |
| Navrtavák B6,3 |  | $n=900$ [ot/min] |

1.8 Soustružení - operace III.

Operace je zaměřena na oblast soustružení. Obrobek je upnut mezi hroty, je unášen nožovým unášecem, což nám umožňuje rotační pohyb polotovaru a následné soustružení. Rozměry v toleranční třídě IT7 a nižší jsou soustruženy s přídavkem 0,15 [mm] na plochu. Důvodem je výrobní přesnost stroje, který není schopen v nižších tolerancích upravovat.

Soustružení se provádí na stroji SPU40 CNC. Výrobce stroje je firma Kovosvit MAS ze Sezimova Ústí.



Obr. 8.SPU 40CNC

Základní technické parametry stroje:

Pracovní oblast:

- Oběžný průměr nad ložem mm 600 [mm];
- Max. průměr soustružení mm 400 [mm];
- Max. délka soustružení mm 2500 [mm];

Vřeteno:

- Přední konec vřetena DIN 55026, vel.A – 11;
- Max. průchod tyčového materiálu 80 [mm];
- Výkon hlavního motoru 30 [kW];
- Rozsah otáček 25 - 3150 [ot . min⁻¹];

Horní podélné saně Z:

- Zdvih 2780 [mm];
- Rychloposuv 12 [m.min⁻¹];

Horní příčné saně X:

- Zdvih mm 310 [mm];
- Rychloposuv 10 [m.min⁻¹];

Horní nástrojová hlava: Počet poloh - 12 ;

Rozměry stroje: Délka x šířka x výška 6770x2554x2310 [mm];

Hmotnost: 15000[kg];


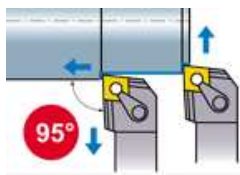

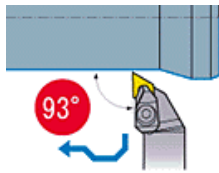
Použité nástroje

Držáky PCLNL a PCLNR - hrubování hřídele. Těmito nástroji hřídel hrubujeme s přídavkem 1 mm na plochu pro soustružení na čisto. Jedná se o stabilní nástroje, kdy vyměnitelná břitová destička je pevně uložena v lůžku držáku. Nevýhoda tohoto nástroje je, že tvar a geometrie nám neumožní obrobit hřídel s rovnoměrným přídavkem pro obrábění na čisto. Použitý typ VBD: CNMG 160608-MA – jakost UE6020.

Držáky DDJNL a DDJNR – obrábění na čisto. Geometrie a tvar tohoto nástroje nám umožňuje soustružit dokonalou konturu hřídele včetně konstrukčních podpichů. V kombinaci s hladicí geometrií vyměnitelné břitové destičky typu Wiper se jedná o ideální nástroj pro dokončování. Důvodem použití této geometrie je možnost soustružení vyššími posuvovými rychlostmi se zachováním požadované drsnosti povrchu. Použitý typ VBD: DNMX 150408-SW – jakost UE6105.

Výrobce a dodavatelem nástrojových držáků a VBD je firma Mitsubishi Carbide.

Tabulka 4. Použité nástroje

| Nástroj | VBD | Schéma použití | Řezné podmínky |
|---|--|--|---|
| Soustružnický držák PCLNL3232P16 PCLNR3232P16 | CNMG160608-MA  |  | $v_c = 240 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $f = 0,30 \text{ [mm/ot]}$ $a_p = 4 \text{ [mm]}$ |
| Soustružnický držák DDJNL3225P15 DDJNL3225P15 | DNMX150408-SW  |  | $v_c = 300 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $f = 0,4 \text{ [mm/ot]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ |

1.9 Soustružení - operace IV.

Tato operace se provádí na konvenčním hrotovém soustruhu SU 50A. Hřídel je upnut do měkkých vytočených čelistí a lunety. Takové to upnutí nám umožní opracovávat čelní plochy hřídele. Pomocí stranového soustružnického nože dorovnáваме čela hřídele na požadovaný rozměr. V našem případě 1085 [mm]. Následuje vrtání, vnitřní soustružení a řezání závitu středového otvoru podle normy DIN 332 tvaru D. Výkres středového otvoru je uveden jako příloha C.

Výrobce tohoto klasického hrotového soustruhu je firma TOS Lipník nad Bečvou.



Obr. 9. SU 50A – 2000

Základní technické parametry stroje:

Pracovní oblast:

- Oběžný průměr nad ložem 500 [mm];
- Oběžný průměr nad suportem 250 [mm];
- Vzdálenost mezi hroty 2000 [mm];
- Vrtání vřetene 56 [mm];

Vřeteno:

- Sklíčidlo $\phi 315$ [mm];
- Rozsah otáček 11,2 - 1400 [ot . Min⁻¹];
- Výkon hlavního elektromotoru 5,5 [kw];

Celková hmotnost stroje - 3450 [kg];


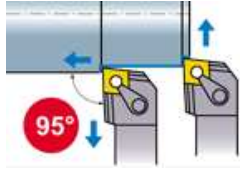
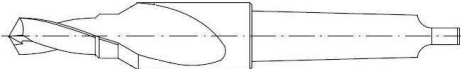



Použité nástroje

Na zarovnání čela polotovaru hřídele používáme soustružnický držák typu PCLNR3232P12 s VBD typu CNMG120408. Nástroj nám umožňuje bezproblémové zarovnání čela. Výrobce a dodavatelem nástrojových držáků a VBD je firma Mitsubishi Carbide.

Středové otvory tvaru dle DIN 332 Form D jsou vyvrtány speciálními HSS vrtáky jenž jsou broušeny do požadovaného tvaru.

Závity M16 a M20 jsou nařezány závitníky od firmy Gühring, které jsou vyrobeny z materiálu HSS-E.

Tabulka 5. Použité nástroje

| Nástroj | VBD | Schéma použití | Řezné podmínky |
|--|---|---|--|
| Soustružnický držák PCLNR3232P12 | CNMG120408-MA  |  | $v_C = 60 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $f = 0,25 \text{ [mm/ot]}$ $a_p = 2 \text{ [mm]}$ |
| Nástroj | Schéma | | Řezné podmínky |
| Kombinovaný vrták Pro M20 dle DIN 332 form D |  | | $v_C = 20 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $f = 0,17 \text{ [mm/ot]}$ |
| Závitník M20 |  | | $n=50 \text{ [ot/min]}$ $f = p = 2,5 \text{ [mm/ot]}$ |
| Kombinovaný vrták Pro M16 dle DIN 332 form D |  | | $v_C = 22 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $f = 0,15 \text{ [mm/ot]}$ |
| Závitník M16 |  | | $n=50 \text{ [ot/min]}$ $f = p = 2,0 \text{ [mm/ot]}$ |

1.10 Frézování - operace V.

Součásti hřídele jsou dvě rovinné drážky. Tyto drážky o rozměrech 18P9 se obrábějí v operaci V. Na $\phi 125p6$ je rovinná drážka s délkou 517,7 [mm] a na $\phi 100m6$ je rovinná drážka s délkou $90^{+0,5}$ [mm]. K frézování používáme obráběcí centrum DMF 220 lineár. Polotovar je upnut na prizma za $\phi 75,3$ ($\phi 75k6 + \phi 75h6$).

Výrobce tohoto stroje je německá firma Deckel Maho Gildemeistr.



Obr. 10. DMF 220 linear

Technické parametry stroje:

Pracovní oblast

- X – 2200 [mm];
- Y – 560 [mm];
- Z - 720 [mm];

Hlavní vertikální vřeteno

- Výkon (40% DC) 35kW;
- Maximální otáčky vřetene 12 000 [ot . min-1];
- Systém upínání nástroje do vřetene SK 40;

Posuv

- Rychloposuv X,Z,Y 100/50/50;
- Rozsah posuvů 50 000 [mm/ min];

Zásobník nástrojů

- Počet kusů v zásobníku – 60 [ks];
- Maximální váha 1 nástroje 8 [kg];
- Maximální délka nástroje 300 [mm];

Operační systém: Heidenhain iTN 530


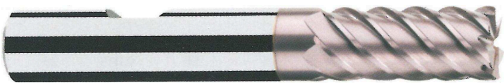

Použité nástroje

Frézování drážek 18P9 je prováděno frézou Franken - Multi Jet. Touto frézou o $\phi 16$ [mm] hrubujeme drážku s přídkem 0,15 [mm] na bok drážky. Hloubku drážky frézujeme hotově.

Pro dokončení rozměru rovinné drážky 18P9 používáme šlichtovací frézu od společnosti Fraisa pod označením Favera o $\phi 16$ [mm].

Odjehlení otřepů po frézování je odstraněno 90° srážecem firmy Horex.

Tabulka 6. Použité nástroje

| Nástroj | Schéma | Řezné podmínky |
|--|--|--|
| Fréza Franken $\phi 16$ – Multi JET |  | $n = 2587 \text{ [ot.min}^{-1}\text{]}$ $v_Z = 673 \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}$ |
| Fréza Fraisa $\phi 16$ - Favera |  | $n = 2985 \text{ [ot.min}^{-1}\text{]}$ $v_Z = 500 \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}$ |
| Srážec 90° $\phi 10$ |  | $n = 4200 \text{ [ot.min}^{-1}\text{]}$ $v_Z = 2500 \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}$ |

1.11 Broušení - operace VI.

Poslední výrobní operace se týká broušení průměrů, které byly soustruženy s přídavkem. Důvodem jsou kvalitativní požadavky, které soustruh SPU 40CNC není schopen splnit. Polotovar hřídele je upnut mezi hroty, kde dochází k broušení průměrů nástrojem s nedefinovatelnou geometrií břitu.

Operace se provádí na konvenční brusce BHU 40 – 2000. Výrobce tohoto stroje je TOS Hostivař.



Obr. 11. BHU 40 - 2000

Technické parametry:

- Max. průměr broušení 400 [mm];
- Max. délka broušení 2000 [mm];
- Oběžný průměr 400 [mm];
- Vzdálenost mezi hroty 2000 [mm];
- Max. hmotnost obrobku 300 [kg];
- Výkon hlavního elektromotoru 9.5 [kW];
- Hmotnost stroje 5650 [kg];

Použité nástroje

Pro broušení průměrů je použit brusný kotouč od firmy Tyrolit.

- Velikost kotouče 500x80x203;
- Brusivo: 98A 100J 10V C40;

2. Teoretické zákonitosti třískového obrábění a jejich respektování.

2.1 Hodnocení řezivosti a obrobitelnosti.

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu.

Při obrábění dochází vlivem řezného procesu k relativnímu pohybu mezi nástrojem a obrobkem, dále pak mezi nástrojem a třískou, v neposlední řadě také mezi nástrojem a obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje) což vede k opotřebení nástroje.

Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech (fyzikální, mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového, druh obrábění, geometrie nástroje, řezné podmínky, pracovní prostředí atd.) v jehož průběhu působí mnoho odlišných fyzikálně chemických jevů. Působením zatěžujících faktorů, které můžeme při procesu obrábění na břitu nástroje pozorovat, vznikají některé základní mechanismy opotřebení:

- Abraze;
- Adheze;
- Difúze;
- Oxidace;
- Plastická deformace;
- Křehký lom;

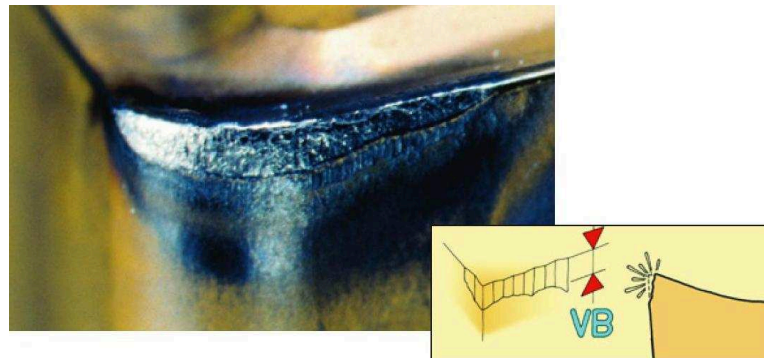
Schopnost materiálu břitu odolávat těmto zatížením určuje, jak a jakou formou je při obrábění ovlivňováno těmito mechanismy opotřebení.

2.2 Abraze

Jedná se o velmi rozšířenou formu opotřebení. Vzniká působením tvrdých částic v materiálu obrobku, ale i mikročástic uvolněných z materiálu nástroje. V podstatě jde o brusný otěr jako při technologii broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a nástroje. V důsledku mechanického zatížení tak vzniká rovinná plocha v prostoru hřbetu břitu.

Odolnost břitu vůči abrazivnímu opotřebení je především závislá na jeho tvrdosti. Nástrojový materiál obsahující větší podíl tvrdých částic ve struktuře bude odolávat

abrazivnímu opotřebení dobře. Ten samý materiál však nemusí být imunní vůči jiným způsobům zatížení.



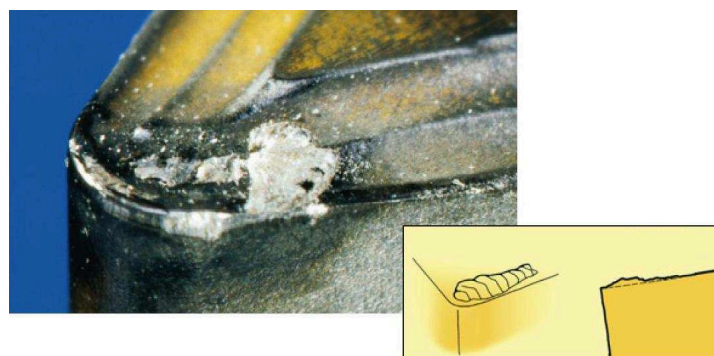
Obr. 12. Abrazivní opotřebení

2.3 Adheze

Adhezní opotřebení vzniká v prostoru mezi čelem a hřbetem nástroje a obráběným materiálem. Důvodem tohoto opotřebení jsou vysoké tlaky a chemicky čisté povrchy v kontaktních plochách. Tento typ opotřebení vzniká především při nízkých řezných teplotách v místě vrcholových mikro nerovností.

V místě mikro nerovností dochází k plastické deformaci vlivem působení vysokých tlaků. Příčinou plastické deformace se obnaží chemicky čistý materiál. Následně vzrostou místní teploty natolik, že vzniknou mikroskopické svary, které nazýváme adhezní spoje. Nástroj a materiál nejsou vůči sobě v klidu, ale v pohybu, dochází k odtrhávání mikro svarů. Většinou se odtrhává materiál, který obrábíme. Jeho mikročástice však zůstávají nalepeny na řezném klínu nástroje.

Adhezní opotřebení se vyskytuje nejčastěji při nízkých teplotách obrábění na čele a břitu nástroje.



Obr. 13. Adhezní opotřebení

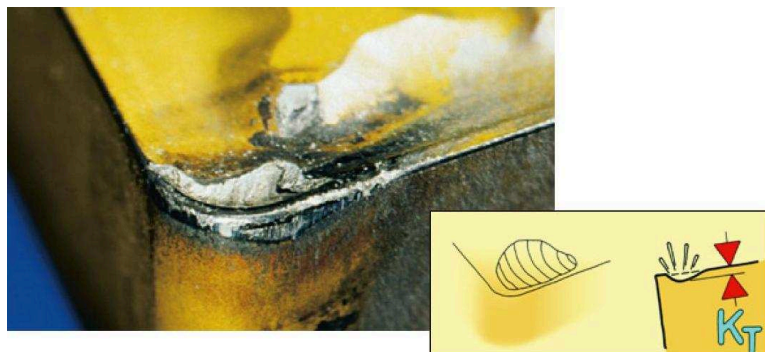
2.4 Difúze

Difúzní opotřebení vzniká, překročí-li řezná teplota $800 - 900^{\circ}\text{C}$. Při těchto teplotách se stává difúze převládajícím mechanismem opotřebení čela i hřbetu vyměnitelné břitové destičky. Opotřebení břitu nástroje za vysokých teplot není již závislé na její tvrdosti, ale na teplotě a chemické aktivitě materiálu obrobku a nástroje.

Důvodem vzniku difúze na styčných plochách čela a hřbetu nástroje a materiálu obrobku jsou podmínky, které při vyšších řezných rychlostech urychlují difúzi. Nejvýznamnější podmínkou je teplota. Při dosažení hranice $800 - 900^{\circ}\text{C}$ stoupne rychlost difúze 10^9 krát oproti pokojové teplotě. Jednou z dalších podmínek jsou vysoké tlaky a skutečnost, že ve styčných plochách dochází ke tření chemicky čistých povrchů.

Afinita mezi ocelí a slinutým karbidem vede k difúznímu opotřebení, které se projevuje vznikem žlábků na čele břitu vyměnitelné břitové destičky - nástroje. Z důvodu závislosti teploty na opotřebení se nám největší žlábek vytvoří při vysokých řezných rychlostech.

Difúze atomů probíhá ve dvou směrech. Jedním směrem je pohyb atomů z feritu oceli do nástroje. Druhým směrem je pohyb atomů uhlíku do železa – do třísky.

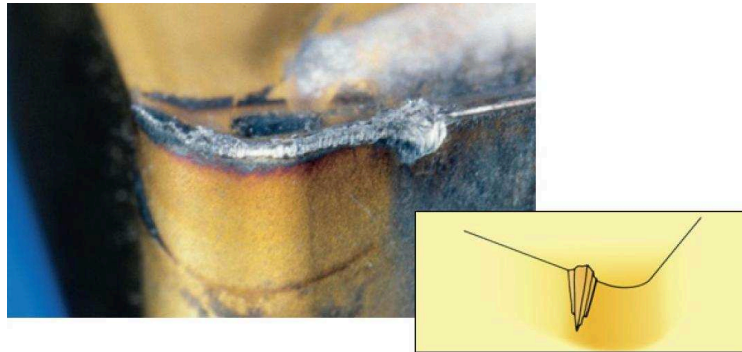


Obr. 14. Difúzní opotřebení

2.5 Oxidace

Oxidace je opotřebení vznikající v místě vedlejšího hřbetu v místě, kde břit vychází ze záběru s obrobkem. Následek tohoto typu destrukce nástroje je teplota a přítomnost okolního vzduchu. Intenzita oxidace povrchu nástroje je závislá na teplotě, která se odvíjí od řezné rychlosti. Z toho vyplývá, že vysoké řezné rychlosti stojí za příčinou vzniku tzv. oxidačních rýh. Následkem prohlubující se rýhy je prolomení výmolu, který vzniká na čele difúzním opotřebením ve směru na vedlejší hřbet. Žlábků vznikajících působením oxidace jsou v dnešní době relativně vzácným fenoménem.

Oxidace jako typ opotřebení má za následek zhoršení drsnosti obrobeného povrchu a při vysokých řezných rychlostech vede k destrukci břitu.

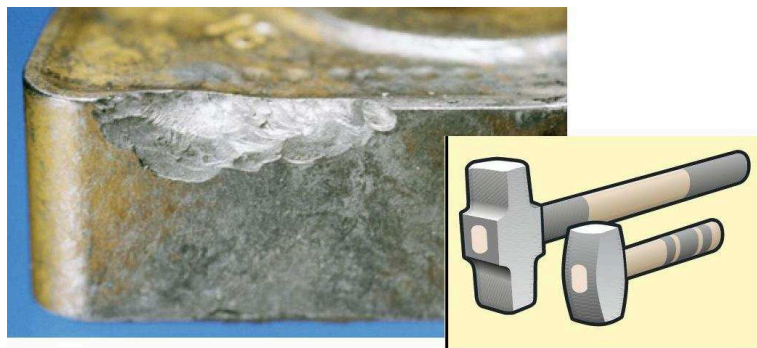


Obr. 15. Oxidační opotřebení

2.6 Křehký lom

Důsledkem vzniku lomu jsou často termomechanické příčiny. Zatížení řeznými silami v kombinaci s kolísáním teploty často vedou k vydrolování a lomu nástroje.

Čistá mechanická únava břitu nástroje může být vyvolána příliš vysokými řeznými silami. Důsledkem lomu mohou být na jedné straně v příliš velké pevnosti či tvrdosti obráběného materiálu v kombinaci s velkým posuvem nebo na straně druhé volbou příliš tvrdého materiálu nástroje. Rovněž může dojít k lomu velmi měkkého materiálu. Příčinou jsou velké teploty vedoucí k plastické deformaci břitu a tím i změně geometrie řezného klínu nástroje. Důsledkem jsou zvyšující se řezné síly vedoucí k lomu břitu.

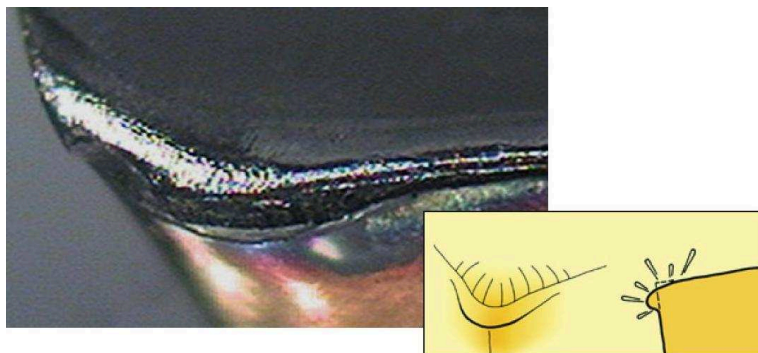


Obr. 16. Křehký lom

2.7 Plastická deformace

K plastické deformaci dochází v důsledku nárůstu teplot nad hranici tepelné stability. U slinutého karbidu se tato teplota pohybuje kolem 1100°C. Dochází zde ke zborcení ostří, což vede k deformaci špičky vyměnitelné břitové destičky směrem do nástroje. Tento způsob opotřebení podporuje rostoucí výmol v prostoru čela nástroje.

Vlivem plastické deformace může vzniknout i tzv. lavinové opotřebení.



Obr. 17. Oxidační opotřebení

První dva mechanismy opotřebení jsou též označovány jako fyzikální, druhé dva jako chemické, všechny čtyři působí v průběhu času plynule, s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný.

Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle, v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje.

Hřbet nástroje se opotřebovává především vlivem abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Příčinou opotřebení funkčních ploch břitu nástroje je vždy kombinace výše uvedených jevů, které neprobíhají se stejnou intenzitou.

Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetu nebo na špičce mají výrazný vliv i další faktory, jako je geometrie nástroje, druh operace – hrubování, dokončování a v neposlední řadě i řezné podmínky – řezná rychlost, hloubka řezu, posuvová rychlost a chlazení.

Studium a znalosti příčin opotřebení břitu nástroje vedou ke zvyšování jeho trvanlivosti.

2.8 Trvanlivost řezného nástroje

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých časů řezání, od počátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria. Kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a odpovídající kvalitu povrchu a to po celou dobu trvanlivosti nástroje.

Trvanlivost nástroje v nejkrajnějším případě končí jeho lomem. V dnešní době, při využívání progresivních nástrojů si nemůžeme dovolit takový to konec. Trvanlivost se tedy vztahuje na opotřebení břitu nástroje a ne na jeho lom. Stanovení trvanlivosti řezného nástroje je důležitým faktorem při obrábění. Důvodem je použití výkonných obráběcích center, kde samotný proces obrábění probíhá v automatickém režimu za zavřenými dveřmi stroje.

Trvanlivost nástroje podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména:

- Metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání atd.);
- Vlastnostech obráběného materiálu;
- Vlastnostech nástrojového materiálu;
- Řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, hloubka řezu, chlazení);

Již počátkem minulého století zjistil Taylor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin.

Taylorův vztah:

$$T = \frac{C_T}{v^m} \quad [\text{min}] \quad (2.1)$$

Vzhledem k vysoké a nepraktické hodnotě konstanty C_T ($10^9 - 10^{13}$) se používá níže uvedený vztah. Důvodem je velikost hodnoty C_V ($10^2 - 10^3$), přičemž konstanty jsou ve vzájemném vztahu $C_V = C_T^{1/m}$.

$$v = \frac{C_V}{T^{\frac{1}{m}}} \quad (2.2)$$

2.9 Životnost řezného nástroje

Životnost nástroje je definována jako součet všech trvanlivostí. Respektive jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení. Nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušená celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity.

Životnost pro nástroj s vyměnitelnými břitovými destičkami:

$$Z = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T \quad [\text{min}] \quad (2.3)$$

Pro celistvé nástroje lze životnost vypočítat vztahem:

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x+1) \cdot T \quad [\text{min}] \quad (2.4)$$

2.10 Řezivost nástroje.

Řezivost nástroje lze charakterizovat např. jako vlastnost, která umožňuje nástroji efektivním způsobem odebrat třísku z obráběného materiálu. Tato vlastnost úzce souvisí s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nástroje. Řezivost je zároveň ovlivněna i jinými faktory, jako je metoda obrábění, geometrie nástroje, řezné podmínky atd.

Není vlastností absolutní a to zejména v tom smyslu, že závisí i na obráběném materiálu, především na jeho mechanických vlastnostech.

2.11 Obrobitelnost materiálu

Obrobitelnost není obecně platnou definovanou standardizovanou vlastností. Pod pojmem obrobitelnost materiálu se rozumí souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro výrobu součástí konkrétním způsobem obrábění. V podstatě je tím myšleno, jak snadno se materiál obrábí. Uhlíková ocel se střední jakostí se v porovnání se žárovevnou slitinou obrábí snadno. Při obrábění šedé litiny vzniká méně problémů než při obrábění tvárné perliticko-feritické litiny odlévané do kokil. Ocel se sklony „k nalepování“ s nízkým obsahem uhlíku se bude hůř obrábět než různé druhy legované oceli. Pojem obrobitelnost není jednoznačně definovatelný z důvodu různorodosti

operací obrábění, kontinuálního vývoje a zlepšování řezných nástrojů. Není rovněž jednoduché měřit obrobitelnost na podkladě porovnávání hodnot.

Podstatně přesnější, avšak o to náročnější je sestavit všechny vlastnosti materiálů obrobku, které ovlivňují proces obrábění do porovnávací tabulky. Obrobitelnost je určována metalurgií, chemií a mechanikou, stejně jako tepelným zpracováním, druhem legujících přísad, počtu vměstků a charakterem povrchu materiálu obrobku. Důležitými faktory vlivu jsou dále kvalita břitu a držáku nástroje, obráběcí stroj a podmínky obrábění.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem mohou říci, že je obrobitelnost vlastností relativní. Obrobitelnost je především vlastností obráběného materiálu, přesto musí být posuzována v úzké souvislosti s řezivostí nástroje (nástrojového materiálu).

Obrobitelnost je možné zlepšit například zkvalitněním jakosti odlitků, případně použitím automatových ocelí nebo také změnou řezných nástrojových materiálů, geometrií břitu, způsobem upnutí, řezné kapaliny atd. V širším hledisku je obrobitelnost funkční veličinou vztahu nástroj – obrobek, pro kterou jsou důležité tyto kritéria:

- Trvanlivost břitu;
- Utváření třísky;
- Stav povrchové vrstvy;
- Výkon obrábění;
- Řezná síla – příkon;
- Sklon k vytváření nárůstku;

Kombinace znalostí vlastností materiálů a testů obrábění poskytuje dobrý základ pro hodnocení obrobitelnosti, vztažený buď na jednotlivé speciální případy, nebo na celou výrobu. Důležité jsou i ostatní faktory, jako jsou přísady pro zlepšení obrobitelnosti, mikrostruktura, tvrdé a abrazivní složky, sklon k „nalepování“ atd. Obrobitelnost lze označit jako dobrou, je-li nějakým typem nástroje a řezného nástrojového materiálu možno obrobit určitý materiál.

Pro potřebu vyhodnocování obrobitelnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, označovaných malými písmeny: a, b, c, d, e, f, g, v.

Materiály, každé skupiny jsou děleny do tříd a to na základě indexu obrobitelnosti. Třídy obrobitelnosti jsou označovány číslem, umístěným před písmeno, které určuje danou skupinu materiálu (např. 10a, 14b atd.).

Jednotné normativy zařazují oceli do tříd obrobitelnosti na základě zkoušek bez chlazení prováděných slinutými karbidy typu P10 – P20, které mají ve srovnání s dnes vyráběnými nástroji mnohem nižší řezivost. Z toho vyplývá, že dnes se používají vyšší

řezné rychlosti a to je důvod proč může být obráběný materiál zařazen do třídy s lepší obrobitelností, než uvádějí Jednotné normativy.

2.12 Obráběné materiály

Strojírenský průmysl neustále vyvíjí a produkuje široké spektrum součástí obráběných z celé řady různorodých materiálů. Každý materiál má své specifické vlastnosti, které jsou ovlivňovány množstvím přísadových prvků, tepelným zpracováním, tvrdostí, pevností atd. To vše má značný vliv na způsob obrábění respektive na volbu geometrie nástroje, použitých řezných podmínkách, ale i na volbu obráběcího stroje. Obráběné materiály proto byly rozděleny do základních šesti skupin:

ISO P – Ocel představuje největší skupinu materiálů. Tato skupina je rozdělena do podskupin, jako je nelegovaná ocel, vysoce legovaná ocel, ocel na odlitky atd.. Obrobitelnost těchto materiálů je dobrá, ale závisí na tvrdosti materiálu a obsahu C.



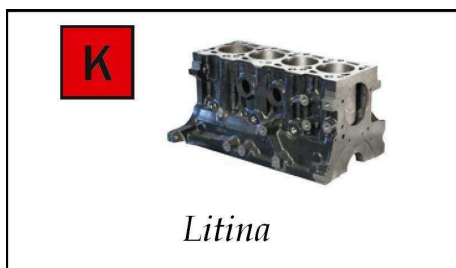
Obr. 18. Označení – ISO P

ISO M – Korozi vzdorná ocel. Jedná se o materiály, jenž jsou vysoce legovány přísadami, jako je Cr, Ni, Mo. Patří zde různé druhy feritických, martenzitických, austenitických korozi vzdorných ocelí. Vlastností těchto materiálů při obrábění je, že bříty jsou vystaveny velkému množství tepla, opotřebení ve tvaru vrubu a tvorbě nárůstku.



Obr. 19. Označení – ISO M

ISO K – Litina. Tento materiál tvoří krátké třísky. Díky obsahu SiC, který litiny obsahují, je břit vystaven abrazivnímu opotřebení. Šedá a temperovaná litina se obrábí snadno, ale modulární litina, kompaktní litina s červíkovým grafitem nebo také izotermicky kalená litina se obrábí mnohem obtížněji.



Obr. 20. Označení – ISO K

ISO N – Neželezné kovy. Do této skupiny patří kovy a jejich slitiny jako hliník, měď nebo mosaz. Materiály jsou měkké a snadno obrobitelné velkými řeznými rychlostmi.



Obr. 21. Označení – ISO N

ISO S – Žárovzdorné superslitiny. Tato skupina zahrnuje celou řadu vysocelegovaných ocelí a seriálu na bázi Ni, Co a Ti. Při obrábění tyto materiály snadno ulpívají na břit a vytváří tak nárůstky. Během procesu obrábění dochází k jejich zpevňování s tvorbou velkého množství tepla v místě řezu. Vlastnostmi se tato skupina podobá korozivzdorným ocelím – ISO M, ale jejich obrobitelnost je mnohem obtížnější.



Obr. 22. Označení – ISO S

ISO H – tvrdé materiály. Skupina je tvořena ocelí o tvrdosti 45 – 65 HRC a litinou v rozmezí 400 – 600 HB. Materiály se díky jejich tvrdosti obrábí velmi obtížně. Při procesu obrábění vzniká velké množství tepla, jenž na břit působí velmi abrazivně.



Obr. 23. Označení – ISO H

3. Efektivní využívání současných řezných nástrojů

3.1 Vysokorychlostní obrábění - HSC

Vysokorychlostní obrábění - HSC nebo také Vysoko objemové obrábění - HVC není jen změna technologie, ale především strategie ke zvyšování produktivity výroby. Použití těchto metod je vždy iniciováno snahou o snížení nákladů a zvýšení objemu výroby při současném dodržení kvality.



Obr. 24. Stopková fréza HELI-Alu

Historie High Speed Cutting sahá do počátku 20. století. První zkoušky proběhly již v roce 1920. Stále však máme nejasnosti týkající se přesné definice této metody. Jako první navrhl definici vysokorychlostního obrábění Carl Salomon v roce 1931. Charakterizoval ji jako metodu, při které obrábíme pěti až deseti násobnou řeznou rychlostí než při konvenčním obrábění. Dnes však víme, že HSC není a ani nemůže být definována jen vysokými řeznými rychlostmi a posuvy.

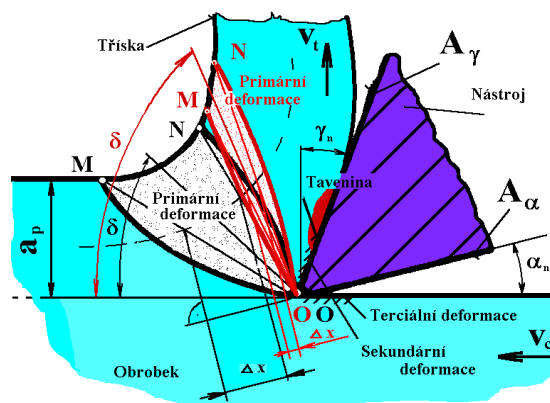
Podstatou této metody je splnění celé řady nutných parametrů, které charakterizují celou strategii HSC. Jedná se především o použití výrazně vyšších řezných parametrů (otáček vřetena, posuvů, hloubkou odebrané vrstvy) za účelem dosažení specifických podmínek při obrábění, které se v běžné praxi nepoužívají. Základem této technologie je rozdílný vznik třísky, její odchod z místa řezu a zbytková pnutí po ukončení procesu řezání.

3.2 Vznik třísky

Při překročení určité hranice řezné rychlosti v_c a posuvové rychlosti v_f (minimálně 15 [m.min⁻¹]) dochází k celé řadě změn týkajících se principu vzniku třísky. Jde především o změny z oblastí metalurgických, chemických, ale i mechanických

vlastností. Tyto změny jsou způsobeny tím, že posuvová rychlost v_f je nyní srovnatelná s řeznou rychlostí v_c . Důsledkem této skutečnosti je zvýšená reakce plasticky se deformujícího materiálu ve směru posuvové rychlosti. Rovněž se sníží plocha styku odcházející třísky s čelní částí břitu řezného nástroje a omezí se sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Do nástroje se přenáší minimální množství tepla, protože naprostá většina vygenerovaného tepla odchází s třískou.

Pro vysokorychlostní obrábění není oproti konvenčnímu obrábění koeficient tření μ konstantní. Naopak se vzrůstající řeznou rychlostí klesá. V extrémních případech může na spodní straně třísky docházet k tvorbě tekuté vrstvy materiálu. Tření na čelní ploše nástroje je redukováno, tím pádem ubývá přechovávání třísky a přirůstá její zakřivení. Vlivem úbytku přechovávání třísky vzrůstá úhel kluzu, což má za příčinu podstatnou redukci přetvárné práce. Utvářející tříska se vlivem teploty zahřeje a následně sníží svou přitlačnou sílu F_N na čelo nástroj A_γ .



Obr. 25. Tvorba třísky u „konvenční“ a „HSC technologie“

S rostoucí řeznou rychlostí se oblast primární plastické deformace zužuje (obr. 16. oblast OMNO), čímž se energie vydaná na plastickou i elastickou deformaci soustředí do menšího objemu. Tento fakt způsobuje nižší energetickou spotřebu, protože se přetvárná práce soustředí do menšího prostoru a probíhá rychleji. S klesajícím deformačním koeficientem ($1 \leq K \leq 10$) roste rychlost odchodu třísky v_t , jejíž průřez se tímto zmenšuje. Rostoucí teplota v místě řezu způsobuje snižování měrného řezného odporu p .

S rostoucí deformační rychlostí v_d roste teplotní gradient, čímž se zase naopak zkracuje doba styku břitu nástroje s právě vznikající částí obrobené plochy, která se tímto méně prohřívá.

3.3 Uplatnění technologie HSC

Uplatnění High Speed Cutting - HSC je především v oblasti výroby hliníkových dílů pro automobilový průmysl, miniaturních dílů a dílů pro medicínský průmysl. Často je v těchto případech vyžadováno obrábění metodou FMR - Fast Metal Removal - rychlý odběr materiálu. V těchto oblastech se jeví metoda HSC jako nezbytná. Příkladem může být obrábění konstrukčních dílů křídel, trupů letadel a dalších obdobných tenkostěnných a rozměrných dílů z hliníku, kde při obrábění se otáčky včetně pohybuji mezi 15 000 až 50 000 za minutu. Mezi oblastmi, kde se metoda HSC používá, patří i oblast výroby forem a zápustek. Toto odvětví je charakteristické svými požadavky na vysokou přesnost, dokonalou geometrii a kvalitou povrchu tvrdých nebo houževnatých materiálů.

Kromě požadavku na vysoké rychlosti je také kladen důraz na stabilitu procesu obrábění. Stabilita procesu je podmíněna volbou stroje, nástroje, ale také způsobem programování, který musí brát v úvahu veškeré podmínky odlišné od konvenčního obrábění. Při aplikaci HSC je nutné dokonale znát vlastnosti stroje a tomu také přizpůsobit řezné podmínky. Obráběcí stroj musí mít jednotlivé komponenty navrženy a sestaveny tak, aby tvořily jeden mechanicky dokonale vyvážený celek. Vyvážený celek musí také tvořit i ostatní elementy, kterými jsou řezné nástroje a upínací nářadí.



Obr. 26. ER kleštiny, integrální držáky

3.4 Zdroje nestability soustavy

Části rozhodující o výkonnosti HSC jsou včetně, vodící plochy, motor pohonu, upínací nářadí a nástroje. Včetně je nejkritičtější částí soustavy a proto je třeba věnovat maximum pozornosti jeho dokonalému stavu a udržovat jeho házivost na minimu. I malá házivost včetně nebo nástroje má totiž velký význam s ohledem na životnost monolitních fréz či VBD. Házivost břitů frézy by neměla přesahovat 10 mikrometrů. Životnost nástroje totiž s každými dalšími 10 μm házivosti klesá až o 50 %. V případě, že nástroj, upínač

i vřeteno jsou přesně vyváženy, existuje stále několik dalších možných zdrojů nestability. Jedním z možných problémů bývá nepřesnost mezi upínačem a dutinou vřetena. Možnou příčinou mohou být nečistoty na kuželu nástroje nebo uvnitř dutiny vřetena. Při aplikaci vysokorychlostního obrábění má jakákoliv nevyváženost či vibrace vliv na přesnost výroby. Při vlastním procesu vyvažování je nutné, např. pro stopkovou frézu pracující při 20 000 [ot.min⁻¹] vyvážit nástroj včetně upínače na hodnotu, která je menší než 20 [g.mm].

3.5 Řezné nástroje

Kvalita a parametry řezného materiálu hrají významnou roli v procesu obrábění. Nalezení a přiřazení nejvhodnějšího nástrojového materiálu a geometrie břitové destičky pro daný materiál obrobku je velmi důležité pro produktivitu obráběcího procesu.

Příkladem může být fa. Iscar, která vyvinula nepovlakovaný jemnozrnný karbid IC08, jenž je vhodný právě pro HSM metody obrábění neželezných materiálů. Jako druhou variantu nabízí Iscar submikronový povlakovaný karbid IC903 pro HSM. Jedná se o karbid s 12% obsahem Co a PVD povlakem TiAlN. PVD povlaky zkratka Physical Vapor Deposition jsou nanášeny za relativně nízkých teplot 400 – 600 °C. Samotný proces se skládá z postupného odpaření kovu, který reaguje, např. s dusíkem, přičemž na povrchu obráběcího nástroje vzniká tvrdý nitridický povlak. IC903 se vyznačuje vysokou odolností proti otěru a vysokou houževnatostí substrátu, tj. vlastnostmi, které jsou důležité při vysokorychlostním obrábění kalených ocelí (do tvrdosti 62 HRC), titanu, nerezových ocelí a slitin na bázi niklu. VBD z těchto jakostí karbidů mají specifický design a geometrii řezné hrany. Nástroje jsou konstruovány tak, aby dosáhly vysoké tuhosti, zajistily odvod tepla z místa řezu a odolávaly teplotním šokům.



Obr. 27. Fréza Solid Mill s povlakem IC903

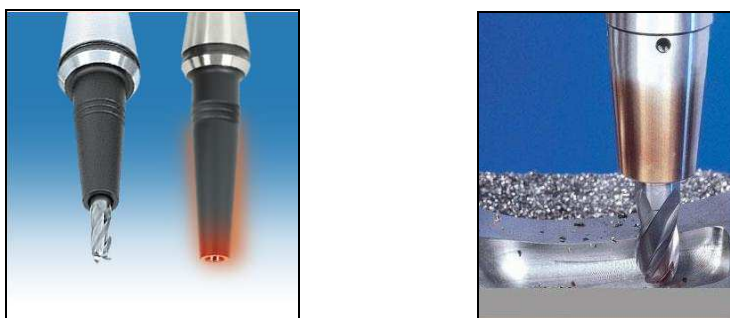
3.6 Tepelné upínání nástrojů

Pro zajištění maximální přesnosti a tuhosti upnutí osových rotačních nástrojů vyvinula německá firma Franz Haimer GmbH systém tepelného upínání nástrojů. Princip tepelného upínání spočívá v tepelné roztažnosti materiálu. Držáky jsou vyrobeny ze speciálního materiálu, jehož ohřevem dojde ke zvětšení otvoru pro upnutí nástroje. Obsluze stačí poté vložit nástroj do držáku. Ochlazením dojde ke smrštění držáku, a tím k upnutí nástroje. Výsledkem je upnutí nástroje, které se vyznačuje dokonalou pevností, přesností a vyvážením. Tento systém upínání nástrojů je vhodný zejména pro vysokorychlostní obrábění.

Firma Haimer vyvinula přístroj pro tepelné upínání nástrojů Power Clamp. Tento přístroj používá k ohřevu materiálu indukční cívky. Doba ohřevu se pohybuje okolo 5 sekund. Během této doby dojde k zahřátí povrchu držáku na teplotu cca 250 - 300 °C. Při této teplotě dojde k dostatečné tepelné roztažnosti, abychom byli schopni do držáku vložit nástroj.

Při těchto teplotách ohřevu nedochází k tepelnému ovlivnění a změnám ve struktuře materiálu držáku. Důvodem je, že materiál začíná reagovat změnou struktury až při teplotě nad 500 °C. Tímto je vyloučena deformace držáku stálým upínáním a odepínáním nástroje.

V současné době tento systém upínání nabízí mnoho firem. Příkladem je firma Seco tools se svým produktem Easy Shrink nebo firma Iscar se svým produktem Shrinkin ER.



Obr. 28. Tepelné upínače Shrinkin od firmy Iscar

Pro snadnou a rychlou práci v nástrojárnách a seřizovnách nabízí Iscar dva kompletní systémy pro Shrinkin ER kleštiny. Menší je přenosný s odporovým ohřevem a lze jej používat i přímo u stroje. Větší mobilní jednotka s indukčním ohřevem se naopak

uplatní hlavně v nástrojárnách. Oba přístroje jsou vybaveny dokonalou teplotní regulací a kontrolou pro snadné upínání a demontáž nástrojů.



Obr. 29. Přenosná tepelná jednotka Shrinkin V2

3.7 Systém Iscar Balancin

Vibrace nástroje vznikají také odstředivou silou samotného osově nesymetrického nástroje roztočeného při aplikaci HSC na vysoké otáčky. Vibrace se přenášejí na soustavu Stroj – Nástroj - Obrobek. Výsledkem je nízká kvalita povrchu, klesající životnost nástroje a v neposlední řadě i nepříjemný hluk.

Pro přesné upnutí a vyvážení těchto nástrojů je určen systém Iscar Balancin. Jedná se o upínače opatřené sadou vyvažovacích kroužků, které mají uvnitř karbidová závaží. Po obvodu vyvažovacích kroužků je stupnice pro odečet vzájemného posunu. Proces vyvážení se provádí na běžně dostupných vyvažovacích strojích vzájemným natáčením těchto kroužků. Takto lze kompenzovat nevyvážek až do velikosti 61 [g·mm].



Obr. 30. Použití vyvažovacího systému Balancin na různé typy upínačů

3.8 HSC stroje

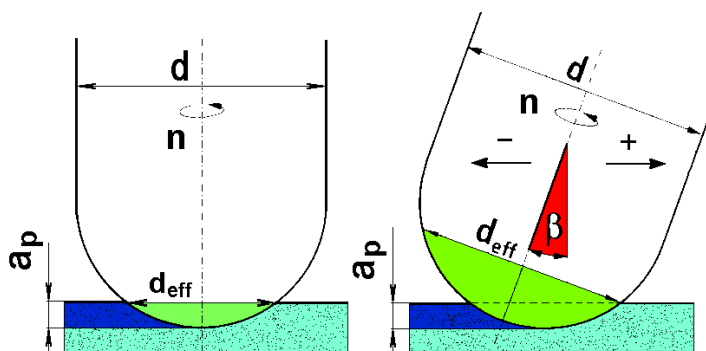
Významné přednosti HSC technologií jsou podmíněny značnými požadavky na konstrukci HSC strojů především kinematikou a staticko-dynamickou tuhostí.

Na konstrukci HSC strojů jsou oproti konvenčním strojům kladeny mnohem vyšší nároky. Jedná se především o řešení rámců, které musí být lehké, tuhé, s vysokými vlastními frekvencemi a dobrým útlumem proti mechanickým šokům a vibracím. Součástí rámců jsou i přímočará vedení, případně otočná uložení, u nichž je rovněž požadována vysoká tuhost a minimální tření při vysokých posuvových rychlostech.

Další podmínkou na konstrukci HSC strojů je vysoká odolnost proti vznikajícímu teplu, které vzniká nejen při procesu obrábění, ale i při samotném běhu stroje. Vznikající teplo má negativní vliv na geometrii rámu, které vlivem dilatace mění svůj tvar. Následkem těchto příčin může být změněná přesnost a spolehlivost stroje. Proto konstrukční řešení HSC stroje musí být vyřešeno tak, aby nebyla ovlivněna kvalita a přesnost obráběné plochy.

Převážná část vyprodukovaného tepla při obrábění odchází s třískou. Z tohoto důvodu musí být zabezpečeno její rychlé a snadné odstranění z prostoru stroje.

Největší význam má vysokorychlostní obrábění při frézování s použitím pětiosých obráběcích strojů. Při frézování technologií HSC je nutno eliminovat frézování středem nástroje. Důvodem je, že v ose nástroje je nulová řezná rychlost. Následkem je nedosažení potřebné řezné rychlosti a z toho vyplývající nemožnost využití efektů technologie vysokorychlostního obrábění. Tento problém lze vyřešit nakloněním kulové frézy o cca $\beta = 20^\circ$ od osy nástroje vzhledem k prostorové normále k okamžitému povrchu obrábění (viz Obr. 33). Abychom byli schopni tuto podmínku splnit je nutno obrábět na strojích s pěti-osým řízením úhlové polohy osy nástroje vůči obrobku.



Obr. 31. Tří-ose a pěti-ose obrábění

Pěti a více ose obráběcí stroje představují jednu z nejnovějších generací strojů. Obecně je můžeme rozdělit podle převažujícího způsobu obrábění a polohy hlavního vřetene na:

Obráběcí centra:

- ✓ Vertikální;
- ✓ Horizontální;

Soustružnická centra:

- ✓ Vertikální;
- ✓ Horizontální;

Mezi přední výrobce vysokorychlostních pěti osých obráběcích center patří firmy jako je Mori Seiky, Mazak, Heller, DMG, Hermle, Makino atd. Každá z těchto firem předvádí unikátní konstrukční řešení svých strojů, které splňují veškeré požadavky pro vysoko rychlostní obrábění.

Příkladem takového pětiosého stroje může být *Hermle C22U*, kterou představil jako svou novinku německý výrobce Maschinenfabrik Berthold Hermle AG u příležitosti veletrhu AMB Stuttgart.



Obr. 32. Hermle C22 U dynamic

Konstrukce lože využívá osvědčené modifikované portálové vedení, jenž je vyrobeno z minerální litiny. Tradičně tři osy patří nástroji a čtvrtá a pátá osa se nachází v naklápěcím a otočném stole. Dráhy o posuvu X-Y-Z 450/600/330 [mm] jsou přizpůsobeny na maximální rozměry obráběné součásti.

Stroj umožňuje na všech lineárních osách zrychlení $15 \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ při rychlostech rychloposuvů do $50 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$. Výsledkem je, v kombinaci s torque – prstencovými motory v osách A a C, vysoký stupeň dynamiky stroje.

Kruhový zásobník, až pro 65 nástrojů je úsporně integrován do lože stroje. Funguje na tzv. principu pick-up, kdy výměna nástroje trvá 4,5 [s] (tříska – tříska).

Na přání zákazníka je firma schopna dodat ke stroji přídatný zásobník pro obrábění vysoce komplexních součástí. Výkon hlavních vřeten stroje je 37 [kW], kroutící moment do 80 [Nm] a počet otáček 15000, 18000, 30000 nebo také 42000 [ot.min⁻¹]. Další volbou pro zákazníka je řídicí systém a to buď Heidenhain iTNC530 nebo Siemens 840D.



Obr. 33. Pracovní naklápěcí a otočný stůl

Konstrukční provedení stroje používá čtyř bodové ustavení, nevyžaduje žádný specifický základ a transportuje se jako úplná jednotka. Jednotlivé agregáty jsou po otevření ochranných krytů stroje dobře přístupné pro provedení servisních prací.

Součásti zařízení je jednoduché nájezdové jištění se snímáním a osvědčené deformační pouzdra pro případ kolize vřetene. To znamená, že v případě kolize stačí vyměnit pouze deformační pouzdra a náklady na opravu stroje zůstávají v mezích únosnosti.

Druhým příkladem unikátních obráběcích center jsou stroje od švýcarské firmy DIXI, kterou vlastní firma Mori Seiky pod označením JIG a DHP. Jedná se o nano přesná obráběcí centra s vodorovnou – horizontální osou obrábění.

Pracovní a geometrická přesnost těchto strojů snese srovnání s 3D souřadnicovými měřicími stroji. Vysoké přesnosti v oblasti „nano“ je dosahováno precizní ruční prací a výhodné kinematické struktury. Z důvodu ručního zaškrabávání je docíleno takových geometrických poměrů, že opakovatelnost dle normy ISO 230–2 je 900 [nm] a přesnost polohování je 990 [nm]. To vše je měřeno při kroku 50 [mm]. Volumetricky jsou taktéž garantovány velmi nízké hodnoty přímosti a úhlové odchylky. Přímost je lepší než 1 [μm] a úhlová odchylka lepší než 6 [μm], a to na zdvihu 1 140 [mm].

Stroje vykazují tuhost 120 [N.μm⁻¹] a vlastní frekvenci rámu 80 [Hz]. Ve všech osách je použito profilové valivé vedení, jenž je mazáno olejem a navíc jsou všechny osy teplotně kontrolovány a chlazeny. Rám stroje je ukládán na třech bodech a je vyroben ze šedé litiny. Využívá principu box in box a v ose X. Dále také principu DCG (Driven at

the center of gravity). DCG – unikátní technologie, která minimalizuje vibrace a optimalizuje kvalitu obrobené plochy, přesnost, čas obrábění a životnost nástroje.

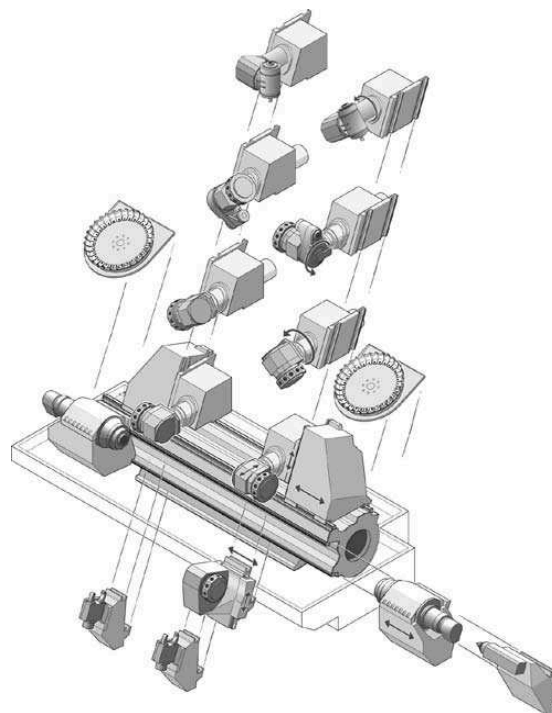


Obr. 34. Stroj JIG 700. - Stroj DHP50

Na závěr bych chtěl zmínit ještě jeden fakt. Tyto nano přesné obráběcí centra nejsou určeny výhradně pro dokončovací operace, ale díky svému vysokému výkonu motorů mohou stroje hrubovat, ale i obrábět na čisto při jednom nastavení.

Mezi pěti a více ose obráběcí stroje patří bezesporu i soustružnická centra. Výrobci, díky konstrukčnímu řešení, nabízejí zákazníkovi možnost dodání stroje podle jejich konkrétních požadavků.

Vývojovým trendem dnešních soustružnických center je kombinace revolverové hlavy a frézovacího vřetene s B osou. Díky stavebnicovému systému může být zákazníkovi dodán stroj, který má více plnohodnotných vřeten, lunetu, velkokapacitní zásobník atd..



Obr. 35. Přehled konstrukčních možností stroje Index G400

4. Návrh progresivní technologie obrábění hřídelí elektrických generátorů

4.1 Současné technologie používané pro obrábění hřídelí

Při výrobě hřídele elektrických generátorů se využívá technologie soustružení, frézování, vrtání, řezání závitů a broušení. Tato diplomová práce bude zaměřena na oblast soustružení, frézování, vrtání a řezání závitů.

4.2 Návrh progresivní technologie přípravy polotovaru pro CNC soustružení

4.2.1 Úvod

V kapitole 1.7 této diplomové práce byla představena operace, v níž se polotovar připravuje pro následující operaci - soustružení na CNC soustruhu. Nařezaný tyčový materiál se vloží na prizma zarovnávacího stroje. Pomocí dvou čelních fréz polotovar zarovnáme na požadovanou délku 1087 [mm]. Následně při jednom upnutí, stroj navrtá dva středové důlky do osy kulatiny. Středové důlky o velikosti B6,3 slouží pro upnutí tyčového polotovaru v následující výrobní operaci soustružení.

V kapitole 1.9 je popsána operace, která se provádí na klasickém soustruhu SU50 A. Polotovar hřídele se v této operaci dvakrát upíná do měkkých čelistí a lunety. Pomocí soustružnického nástroje dorovnáme čela hřídele na rozměr. Následně vyvrtáme kombinovaným nástrojem otvor tvaru D dle DIN 332 a nařežeme příslušný závit.

Účelem tohoto shrnutí je sloučení výše uvedených dvou operací do jedné výrobní operace.

Z důvodu, že ani jeden ze strojů k tomu to účelu, již není vhodný, navrhuji operaci provádět na zcela jiném stroji. Tím to strojem je horizontální obráběcí centrum MCFHD 80 PVS. Tento stroj nepatří mezi moderní a špičkové stroje nejnovějších generací. Na druhou stranu má mnoho výhod oproti klasickému soustruhu SU50 A a zarovnávacímu stroji SABO BASIS. Mezi největší výhody bezesporu patří:

- ❖ Omezení vlivu chyby lidského faktoru;
- ❖ Možnost použití progresivnějších nástrojů;
- ❖ Částečná automatizace operace;

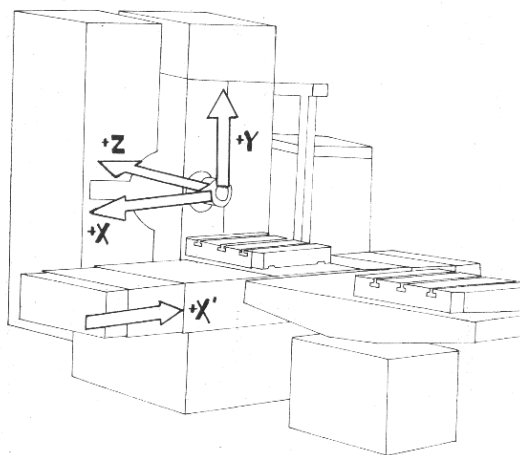
4.2.2 Horizontální CNC centrum - MCFHD 80 PVS

Toto CNC horizontální obráběcí centrum je určeno k frézování, vrtání, vyvrtávání, řezání závitů atd. rozměrných součástí prizmatického charakteru.

Před uvedením do provozu v Ostroji a.s. prošel stroj generální opravou. Mezi hlavní prvky této modernizace stroje patří:

- ❖ Nový agregát pro chlazení nástrojů s tlakem 20 bar;
- ❖ Výměna pohonů os a dopravníku nástrojů;
- ❖ Výměna řídicího systému za Heidenhain TNC 426;
- ❖ Modernizace pohonu hlavního vřetena s navýšením maximálních otáček;
- ❖ Úprava automatické výměny palet;

Pracovní prostor stroje. (viz příloha D.)



Obr. 36. Schéma obráběcího centra MCFHD 80 PVS

Tabulka 7. Technické parametry obráběcího centra MCFHD 80 PVS.

| | |
|---|------------|
| Podélný pohyb – Osa X | 1250 [mm] |
| Svislý pohyb – Osa Y | 1000 [mm] |
| Příčný pohyb – Osa Z | 1000 [mm] |
| Dělení otočné stolu | 72 * 5° |
| Polohování vřetena | Libovolně |
| Kužel dutiny vřetena ČSN 22 0451 - strmý | 50 |
| Průměr vřetena v předním ložisku | 110 [mm] |
| Minimální vzdálenost čela vřetena od osy otočného stolu | 175 [mm] |
| Maximální posuvná síla v osách X , Y | 25 000 [N] |

| | |
|--|---|
| Maximální posuvná síla v ose Z | 15 000 [N] |
| Otáčky vřetene | |
| počet stupňů | 48 [-] |
| rozsah | 9 – 3750 [ot.min ⁻¹] |
| Rozsah posuvů | 1 – 2000 [mm.min ⁻¹] |
| Rychloposuvy | 6 [m.min ⁻¹] |
| Maximální využitelný výkon na vřetenu v závislosti na otáčkách | 8 / 90 – 2000 [kW/n.min ⁻¹] |
| Maximální krouticí moment na vřetenu | 1000 [N.m] |
| Programovací jednotky X , Y , Z | 0,001 [mm] |
| Odměřovací jednotka X , Y , Z | 0,002 [mm] |
| Odměřovací jednotka rotace vřetena | 1,256 [m.rad] |
| Maximální úchylka polohy Mar | 0,03 [mm] |
| Přesnost opakovaného najetí Sar | 0,01 [mm] |
| Periodická chyba Par | 0,01 [mm] |

Tabulka 8. Technologická paleta

| | |
|-----------------------|----------------|
| Upínací plocha palety | 800 x 800 [mm] |
| Upínací drážky | |
| Počet | 7 |
| šířka x rozteč | 22 * 100 [mm] |
| Upínací otvory | |
| počet | 30 |
| velikost | M 20 |
| Hmotnost palety | 432[kg] |
| Únosnost palety | 6000 [N] |

4.2.3 Upínací přípravek

Před zahájením operace je nutno vyrobit upínací přípravek pro minimálně čtyři kusy nařezaného polotovaru. Příčinou tohoto kroku je bezproblémové, bezpečné a rychlé upnutí tyčového materiálu na stůl technologické palety. Přípravek musí rovněž zajistit, přesnější upnutí polotovaru. Důvodem této skutečnosti je, aby kruhové čelo první tyče bylo

v jedné rovině s čely zbývajících tyčí. Upnutí materiálu musí být z důvodu použití CNC stroje opakované a nedošlo tak ke kolizi nástroje s materiálem.

Předmětem této diplomové práce není konstrukce upínacího přípravku, ale zefektivnění výroby hřídelí, z tohoto důvodu upínací přípravek uvedu v zjednodušeném schématu (viz příloha E).

4.2.4 Technologický postup operace

Technologický postup výroby je rozdělen do tří částí. Jednotlivé úseky této výrobní operace se týkají vždy konkrétního typu obrábění, jedná se o frézování, vrtání a řezání závitu.

Tabulka 9. Postup činností při operaci

| Pořadí | Popis práce | Poznámka |
|--------|---|--|
| 1. | Upnutí polotovaru do přípravku 1. | Upnutí a ustavení polotovaru do přípravku |
| 2. | Příjezd technologické palety číslo 1. do prostoru obrábění | Automatický cyklus vyvolaný spuštěním programu – zmáčknutí tlačítka START |
| 3. | Frézování | Zarovnání délky polotovaru frézováním na míru s přídavkem na druhou stranu |
| 4. | Vrtání | Vrtání kombinovaného otvoru pro M16 podle DIN 332 Form D |
| 5. | Řezání závitu | Řezání závitu M16 |
| 6. | Odjetí technologické palety číslo 1. Otočení o 180° Příjezd technologické palety číslo 1. | Automatický cyklus stroje |
| 7. | Frézování | Zarovnání délky polotovaru frézováním na finální rozměr dle výkresové dok. |
| 8. | Vrtání | Vrtání kombinovaného otvoru pro M20 podle DIN 332 Form D |
| 9. | Řezání závitu | Řezání závitu M20 |
| 10. | Odjezd technologické palety číslo 1. do prostoru pro výměnu polotovaru | Automatický cyklus stroje |
| 11. | Upnutí polotovaru do přípravku 2. | Tuto činnost pracovník provádí při automatickém cyklu obrábění technologické palety číslo 1. |

| | | |
|-----|---|--|
| 12. | Příjezd technologické palety číslo 2. do prostoru obrábění | Automatický cyklus vyvolaný spuštěním programu – zmáčknutí tlačítka START |
| 13. | Frézování čela tyčí | Zarovnání délky polotovaru frézováním na míru s přídavkem na druhou stranu |
| 14. | Vrtání otvoru | Vrtání kombinovaného otvoru pro M16 podle DIN 332 Form D |
| 15. | Řezání závitu | Řezání závitu M16 |
| 16. | Odjetí technologické palety číslo 2. Otočení o 180° Příjezd technologické palety číslo 2. | Automatický cyklus stroje |
| 17. | Frézování čela tyčí | Zarovnání délky polotovaru frézováním na finální rozměr dle výkresové dok. |
| 18. | Vrtání otvoru | Vrtání kombinovaného otvoru pro M20 podle DIN 332 Form D |
| 19. | Řezání závitu | Řezání závitu M20 |
| 20. | Odjezd technologické palety číslo 2. do prostoru pro výměnu polotovaru | Automatický cyklus stroje |

4.2.5 Použité nástroje - frézování

Pro frézování čel polotovaru využiji produktu od firmy ISCAR. Jedná se o čelní nástrčnou jemnozubou frézu 16MILL s označením F45WG. Tento nástroj s úhlem nastavení 45° je určen pro vysoké posuvy stolu.

Destičky jsou uchyceny systémem: „upnutí klínem.“ Tento systém nám umožňuje snadné upnutí a indexaci destičky v tělese frézy. Navíc se jedná o upnutí, které zaručuje vysokou bezpečnost a opakovatelnost po výměně destičky v radiálním i axiálním směru.

Nástroj je opatřen 16 vyměnitelnými břitovými destičkami ve tvaru pravidelného osmi-uhelníku. Chceme-li využít 16-ti řezných hran VBD pak maximální hloubka záběru – $a_p = 5,5[\text{mm}]$. Tímto nástrojem lze odebrat i větší hloubku třísky, maximálně však $a_p = 13[\text{mm}]$. Musíme však počítat s využitím pouze osmi řezných hran.

Typy destiček + použití:

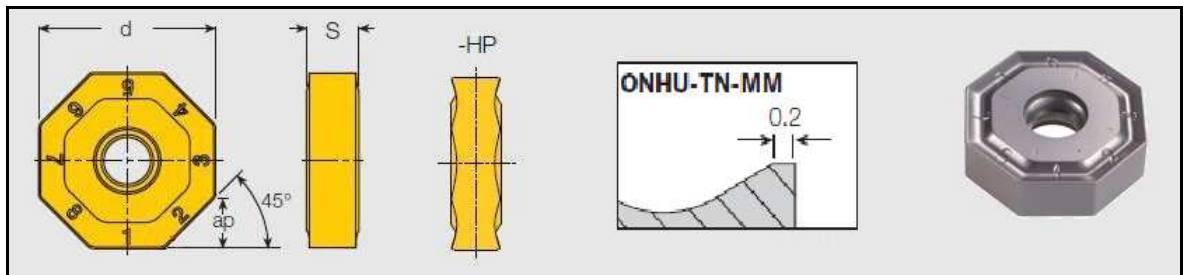
ONMU 080608-TN: všeobecné aplikace frézování šedé a nodulární litiny

ONMU 080608-TN-MM: všeobecné aplikace frézování uhlíkové, legovaná oceli

ONHU 080600-N-PL: broušené destičky s pozitivním úhlem určené na litinu

ONMU 080612-HL: destičky s negativním úhlem čela určené pro hrubování

Pro operaci frézování vybírám VBD typu ONMU 080608-TN, která je určená pro střední hrubovací operace s jakostí IC908.



Obr. 37. VBD pro frézu 16 MILL

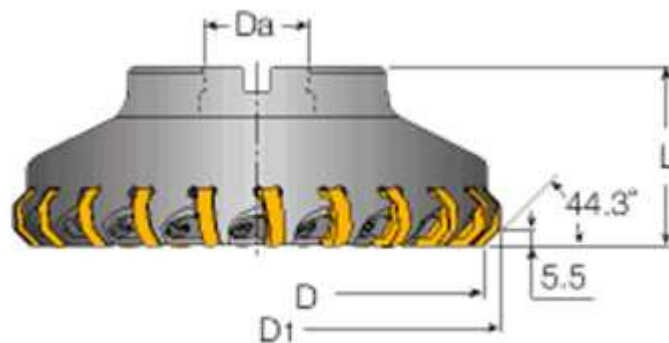
Tabulka 10. Technické parametry VBD

| d [mm] | r [mm] | S [mm] | ap [mm] | fz [mm] | Jakost | vc [m.min ⁻¹] |
|-----------|-----------|-----------|------------|--------------------|--------|------------------------------|
| 20,20 | 0,80 | 6,00 | 5,50 | 0,28 (0,25 – 0,40) | IC908 | 200 (170 - 260) |

Jakost IC908

Vyměnitelná břitová destička je opatřena jemnozrnným povlakem TiAlN nanášená metodou PVD. Výhodou tohoto povlaku je vysoká odolnost proti opotřebení.

Typ frézy - F45WG D160-22-40-FX-R08



Obr. 38. Schéma frézy 16 Mill

Tabulka 11. Technické parametry frézy

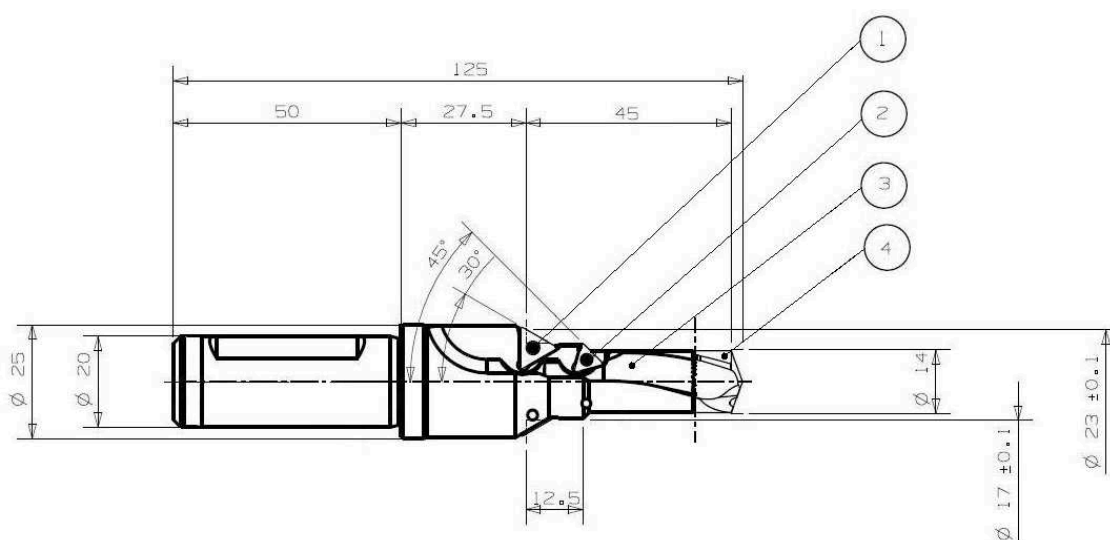
| D [mm] | D ₁ [mm] | a _p [mm] | Z [-] | L [mm] | Da [mm] | m [kg] |
|-----------|------------------------|------------------------|----------|-----------|------------|-----------|
| 160 | 172 | 5,5 | 22 | 63 | 40 | 5,05 |

4.2.6 Použité nástroje – vrtání

Pro vrtání středového otvoru v ose válcového polotovaru vybírám kombinovaný vrták od firmy SECO tools.



Tímto nástrojem vyvrtáme sružený středový otvor podle normy DIN 332 Form D. Hřídel je osazena dvěma otvory typu Form D o velikosti pro závit M16 a M20 (viz příloha B, C). Z tohoto důvodu budu potřebovat dva nástroje na otvory.

Sružený nástroj pro M16 DIN 332 Form D



Obr. 39. Sružený nástroj pro M16 DIN 332 Form D

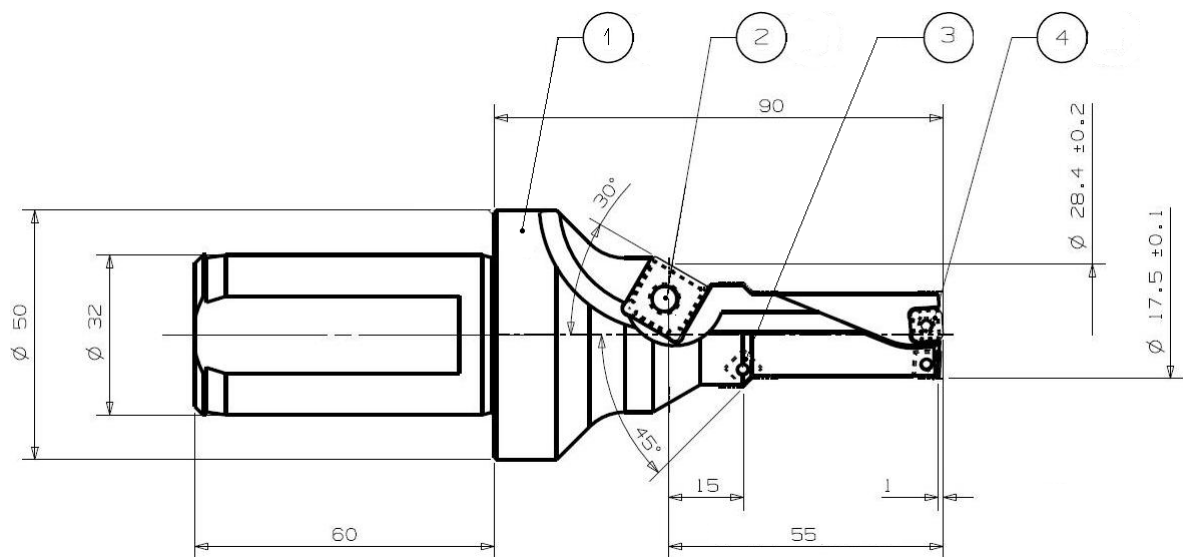
Tabulka 12. Kusovník nástroje

| číslo | Název | počet | Typ | Jakost | Schéma |
|-------|------------------------------|-------|----------------|--------|---|
| 1. | Těleso nástroje | 1 | - | | - |
| 2. | Vyměnitelná břitová destička | 2 | TCMT 090204-P1 | T2000D |  |
| 3. | Vyměnitelná břitová destička | 2 | TCMT 06T104-P1 | T2000D |  |
| 4. | Vyměnitelná korunka vrtáku | 1 | SD100 – 14.00 | T2000D |  |

Jakost TP2500

Tato destička s povlakem MTCVD je určena pro široký okruh aplikací. Odolnost vůči opotřebení a pevnost spolu s velkou univerzálností činní z materiálu této vyměnitelné břitové destičky první volbu pro použití. Destička je složena na bázi $\text{Ti} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$.

Sdružený nástroj pro M20 DIN 332 Form D



Obr. 40. Sdružený nástroj pro M20 DIN 332 Form D

Tabulka 13. Kusovník nástroje

| číslo | Název | počet | Typ | Jakost | Schéma |
|-------|------------------------------|-------|----------------|--------|--------|
| 1. | Těleso nástroje | 1 | - | | - |
| 2. | Vyměnitelná břitová destička | 2 | SCGX 050204-P2 | T3000D | |
| 3. | Vyměnitelná břitová destička | 1 | SPGX 0602-C1 | T3000D | |
| 4. | Vyměnitelná břitová destička | 1 | SCGX 120408-P1 | T400D | |

Řezné parametry

Sdružený nástroj pro M16 dle DIN 332 form D

Tabulka 14. M16 dle DIN 332 form D

| v_c [m.min ⁻¹] | f [mm.ot ⁻¹] | n [ot.min ⁻¹] |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 80 (65 – 105) | 0,23 (0,2 – 0,3) | 1818 (2387 – 1478) |

Sdružený nástroj pro M20 dle DIN 332 form D

Tabulka 15. M20 dle DIN 332 form D

| v_c [m.min ⁻¹] | f [mm.ot ⁻¹] | n [ot.min ⁻¹] |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 100 (70 – 160) | 0,08 (0,06 – 0,11) | 1275 (2228 – 3342) |

4.2.7 Použité nástroje – řezání závitu

Pro zhotovení závitu M16 a M20 volím závitníky od firmy Emuge včetně reverzačního pouzdra Softsynchra 3.

Závitník M16,M20

Pro výrobu závitu použijeme řezací závitník. Tvářecí závitník nemůžeme použít, i když tvářený závit je kvalitnější a pevnější. Důvodem tohoto rozhodnutí je nařízení našeho odběratele. Další podmínkou pro volbu nástroje, je neprůchozí díra a obrábění na CNC stroji s vnitřním chlazením.

Nástrojem, který splňuje výše uvedené podmínky je závitník Rekord 2DF – Steel. Tento nástroj je určen k řezání závitů do ocelí s neprůchozí dírou. Pozvolné stoupání spirálových drážek je velmi vhodné při závitování s čelně osazeným průměrem otvoru jako je vnitřní osazení stupňovitého otvoru DIN332 From D. Dodatečná úprava spirály „F“ tvoří úzce rolované popřípadě malé lomené třísky. Tento typ nástroje s vnitřním přívodem chlazení pomáhá řešit problémy s nedělenou třískou na CNC strojích.



Obr. 41. Závitník Rekord 2DF – STEEL

Při procesu povlakování technologií PVD je při teplotě cca. 500°C nanášena vrstva TiN o tloušťce 1 – 4 [μm]. Tato povrchová úprava s tvrdostí 2300 [HV] má při procesu obrábění dobrý součinitel tření. Výhodou tohoto povlaku je jeho přilnavost, která kladně ovlivňuje trvanlivost nástroje.

Závitník tvoří tři pravotočivé spirály s úhlem stoupání 10-15°. Délka náběhu u tohoto typu nástroje je 2 – 3 stoupání.

Řezné parametry

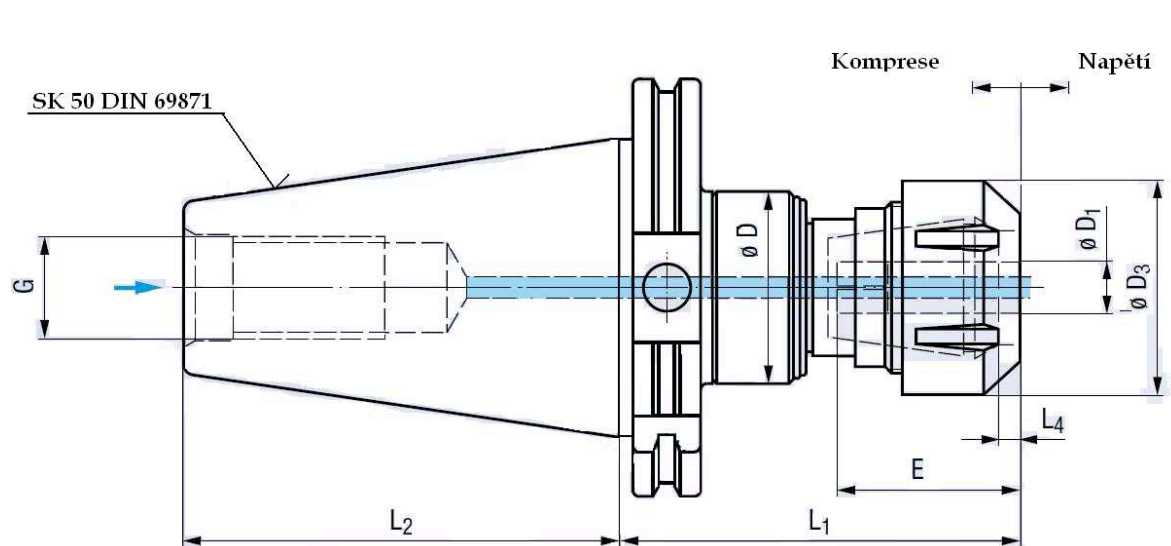
Tabulka 16. Řezné parametry pro závitník M16, M20

| Nástroj | v_c [m.min ⁻¹] | $f = p$ [mm.ot ⁻¹] | n [ot.min ⁻¹] |
|---------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| M16 | 20 (19 - 25) | 2 | 400 (377 – 497) |
| M20 | | 2,5 | 318 (302 – 397) |

Softsynchro 3

K docílení optimální trvanlivosti řezacího závitníku, používáme reverzačního pouzdra Softsynchro. Důvodem je nutnost, aby byla započítána a synchronizována rychlost otáček strojního vřetena a rychlostí osy posuvu. Při započítání stoupání závitu a řezné rychlosti, ze které se vyvozuje posuvová rychlost, vznikají parametrové chyby, které při vypracování programu pro CNC stroj nemohou být zohledněny. Příčinou této chyby je:

- ❖ Vliv obráběcího centra (rychlost výpočtu řídicí jednotky, mech. vlast. stroje atd.);
- ❖ Vliv obráběcího nástroje:
 - tolerance závitu dle DIN EN 22857;
 - změna rozměru stoupání a délky závitu vlivem teploty;



Obr. 42. Softsynchro 3

Tabulka 17. Technické rozměry Softsynchro 3 s SK50

| ϕD [mm] | ϕD_1 [mm] | ϕD_3 [mm] | L_1 [mm] | L_2 [mm] | L_4 [mm] | G [-] | C [mm] | T [mm] |
|------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-----------|-----------|
| 45 | 4,5 - 16 | 50 | 93,5 | 101,75 | 5 | M24 | 0,5 | 0,5 |
| Rozsah použití | | | Kleština | | | Velikost SK | | |
| M4 – M20 | | | ER 32 (GB) | | | SK 50AD | | |

4.3 Zefektivnění frézování

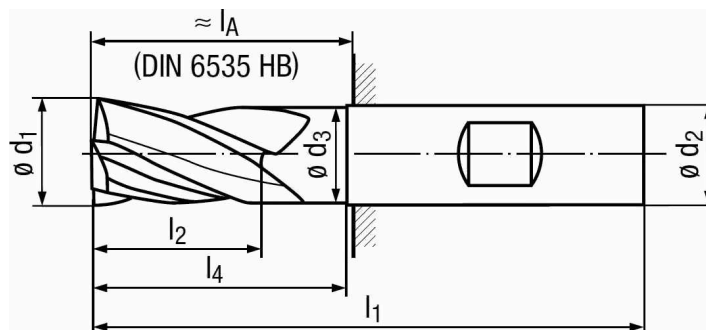
V operaci V. jsou frézovány dvě rovinné drážky na obráběcím centru DMF 220 lineár. Zefektivnění této operace nebude spočívat v použití progresivnějších nástrojů, ale v postupu frézování při hrubování.

4.3.1 Současný postup hrubování drážek 18P9

Drážky 18P9 jsou hrubovány frézou německého výrobce Franken pod názvem Multi Jet Cut - $\phi 16$ [mm]. Tímto nástrojem obrábíme drážky na šířku 17,7 [mm], přičemž požadovaná hloubka je frézována hotově. Nástroj musí obrábět celou délku drážky dvakrát, abychom docílili požadovaného rozměru.

4.3.2 Návrh zefektivnění hrubování drážek 18P9

Zefektivnění hrubování drážek se týká použití speciální frézy o rozměru $\phi 17,7$ [mm] od výše uvedeného výrobce. Oproti dnešnímu postupu, nástroj vyfrézuje drážku při odjetí poloviční dráhy než současná fréza $\phi 16$ [mm].



Obr. 43. Fréza Multi Jet Cut

Tabulka 18. Technické parametry frézy $\phi 17,7$

| ϕd_1 [mm] | ϕd_2 [mm] | ϕd_3 [mm] | l_A [mm] | l_1 [mm] | l_2 [mm] | l_4 [mm] | Z [-] |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| 17,7 h11 | 16h6 | 15,5 | 38 | 92 | 32 | 40 | 4 |

Tabulka 19. Řezné podmínky frézy pro obráběcí centra

| v_c [m.min ⁻¹] | f_z [mm] | a_p [mm] | a_e [mm] |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 120 - 140 | 0,085 | 26,55 | 14,1 |

4.4 Zefektivnění soustružení

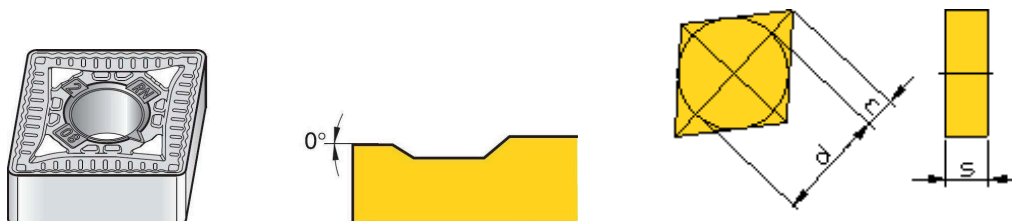
Zefektivnění soustružení se bude týkat využití progresivnějších nástrojů pro hrubování hřídele.

Při soustružení je polotovár upnutý mezi hroty a unášen čelními nožovými hroty. Unášecí hroty nám slouží k přenosu rotačního pohybu z vřetene stroje na obrobek. Tento způsob upnutí nás omezuje v použití vyšších posuvových rychlostí. Důvodem je riziko protočení polotovaru v unášecích hrotech. Tento jev je zvláště nebezpečný v případě soustružení ve směru od vřetene ke koníku stroje. Vzniklá síla nástroje působí v proti směru působení přítláčné síly vyvolané tlakem hrotu koníku stroje.

Příčinou tohoto jevu je možnost hledat nástroj, který má buď:



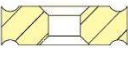

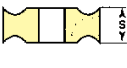

- Stejnou trvanlivost při vyšších řezných rychlostí;
- Vyšší trvanlivost při stejné řezné rychlosti;
- Kombinace vyšší trvanlivosti a vyšších řezných rychlostí;
- Nižší cenu nástroje při stejné trvanlivosti a stejných řezných rychlostí;

Navrhuji vyměnitelnou břitovou destičku, která se při testu soustružení projevila vyšší trvanlivostí v kombinaci s vyšší řeznou rychlostí. Jedná se o vyměnitelnou břitovou destičku od firmy Kennametal s označením: CNMG 160612 RN s jakostí KCP10.



Obr. 44. CNMG 160612 RN

Tabulka 20. Technické parametry VBD

| Tvar destičky | Úhel hřbetu | Tolerance [mm] | Typ VBD | Velikost [mm] | Tloušťka [mm] | Rádus [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C | N | M | G | 16 | 06 | 12 |
|  |  | $d - \pm 0,05-0,15^2$ $m - \pm 0,05-0,15^2$ $s - \pm 0,05-0,15^2$ |  |  |  |  |

RN – je označení geometrie utvářeče třísky na vyměnitelné břitové destičce. Tato geometrie je určena pro středně hrubé soustružení.

Tabulka 21. Řezné podmínky pro VBD CNMG 160612 - RN

| v_c [m.min ⁻¹] | f [mm] | a_p [mm] |
|---------------------------------|-------------------|---------------|
| 300 (190 – 350) | 0,30 (0,25 -1,00) | 4 (1,3 – 12) |

Jakost vyměnitelné břitové destičky KCP10

Tato jakost s označením KCP10 je určena pro středně hrubé obrábění a dokončování poměrně širokého spektra materiálů zahrnujících většinu ocelí, feritických a martenzitických ocelí a litin. Kobaltem obohacený substrát nabízí vyváženou kombinaci odolnosti proti deformaci a houževnatosti břitu. Silná vrstva povlaku nabízí vynikající odolnost proti abrazi a proti opotřebení ve formě výmolů na čele nástroje. Jemný povlak zajišťuje dobrou odolnost proti vzniku nárůstku na řezné hraně a mikroskopickému vylamování.

Tento karbid je obohacený kobaltem se silným povlakem TiCN – Al₂O₃ nanášený metodou MTCVD.

Test VBD CNMG 160612 – RN

Destička byla zkoušena na polotovaru hřídele s jakostí materiálu C45E. Testování nástroje bylo rozděleno do třech částí podle použité řezné rychlosti.

→ 240 [m.min⁻¹]

→ 300 [m.min⁻¹]

→ 340 [m.min⁻¹]

Hlavním kritériem testu bylo porovnání trvanlivosti nástroje v řezu. V první části jsme nasadili VBD na stávající řeznou rychlost soustružení - 240[m.min⁻¹]. Doba nástroje v řezu byla oproti konkurenci dvojnásobná. Z tohoto důvodu jsme přistoupili ke zvýšení řezné rychlosti na 300 [m.min⁻¹]. Destička vykazovala při těchto parametrech stabilní řez s výborným utvářením třísky. Doba nástroje v řezu se zkrátila, ale stále byla oproti konkurenci vyšší. Přistoupili jsme tedy k třetímu zvýšení řezné rychlosti na 340 [m.min⁻¹]. Při těchto parametrech trvanlivost břitu klesla pod úroveň konkurence.

Na základě testů jsem se rozhodl použít na soustružení hřídele řeznou rychlost odpovídající 300[m.min⁻¹].

5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

5.1 Technické vyhodnocení sloučených operací II. a IV.

5.1.1 Úvod

Navrhovaným řešením je sloučení dvou operací do operace jedné. Jedná se o operace číslo II. – zarovnání a navrtání a operace IV. - soustružení do operace jediné. Tato nová - sdružená operace nahrazuje operaci číslo II.

Při časovém rozboru obou technologií budu srovnávat oficiální čas, jenž je uveden v technologické dokumentaci se součtem vypočtených strojních časů jednotlivých navrhovaných technologií. Při časovém rozboru nebudu srovnávat přípravné časy operací. Důvodem je, že součet přípravných časů za II. a IV. operaci odpovídá přípravě na navrhovanou operaci.

5.1.2 Současná technologie – časový rozbor

Tabulka 22. Časový rozbor stávající technologie

| Operace | Název operace | Doba operace - T _o |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| II. | Zarovnání, navrtání | 9 [min] - 540 [s] |
| IV. | Soustružení | 18 [min] - 1080 [s] |
| Celkem – „T _{CO} – s“ | | 27 [min] - 1620 [s] |

5.1.3 Navrhovaná technologie – časový rozbor

Výpočet času frézování – zarovnání čel

Řezná rychlost frézy „v_c“

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (5.1)$$

Otáčky vřetene „n“

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 160} \doteq 397 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.2)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,28 \cdot 397 \cdot 22 \doteq 2445 [mm \cdot \min^{-1}] \quad (5.3)$$

Délka frézování „ l_m “

$$l_m = l_n + l + l_v = 10 + 800 + 170 = 980 [mm] \quad (5.4)$$

Čas frézování „ T_{C-f} “

$$T_{C-f} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{980}{2445} \doteq 0,4 [\min] \quad (5.5)$$

Výpočet času – vrtání – Otvor M16 dle DIN Form D

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 80}{\pi \cdot 17} \doteq 1498 [ot \cdot \min^{-1}] \quad (5.6)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n = 0,23 \cdot 1498 \doteq 344 [mm \cdot \min^{-1}] \quad (5.7)$$

Délka vrtání „ l_m “

$$l_m = l_n + 2l + l_v = 5 + 2 \cdot 45 + 5 = 100 [mm] \quad (5.8)$$

Čas vrtání M16 dle DIN 332 form D „ T_{Cv-M16} “

$$T_{Cv-M16} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{100}{344} \doteq 0,30 [\min] \quad (5.9)$$

Výpočet času – vrtání – Otvor M20 dle DIN Form D

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 21} \doteq 1515 [ot \cdot \min^{-1}] \quad (5.10)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n = 0,08 \cdot 1515 \doteq 121,2 [mm \cdot \min^{-1}] \quad (5.11)$$

Délka vrtání, „ l_m “

$$l_m = l_n + 2l + l_v = 5 + 2 \cdot 55 + 5 = 120 [\text{mm}] \quad (5.12)$$

Čas vrtání M20 dle DIN 332 form D „ T_{Cv-M20} “

$$T_{Cv-M20} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{120}{121,2} \doteq 1,00 [\text{min}] \quad (5.13)$$

Výpočet času – řezání závitu M16

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{\pi \cdot 16} \doteq 398 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.14)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n = 2 \cdot 398 \doteq 796 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.15)$$

Délka řezání závitu „ l_m “

$$l_m = l_n + 2l + l_v = 5 + 2 \cdot 36 + 5 = 82 [\text{mm}] \quad (5.16)$$

Čas řezání závitu M16 „ T_{C-M16} “

$$T_{C-M16} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{82}{798} \doteq 0,11 [\text{min}] \quad (5.17)$$

Výpočet času – řezání závitu M20

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{\pi \cdot 20} \doteq 318 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.18)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n = 2,5 \cdot 318 \doteq 795 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.19)$$

Délka řezání závitu „ l_m “

$$l_m = l_n + 2l + l_v = 5 + 2 \cdot 42 + 5 = 94 [\text{mm}] \quad (5.20)$$

Čas řezání závitu M20 „ T_{C-M20} “

$$T_{C-M20} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{94}{795} \doteq 0,13[\text{min}] \quad (5.21)$$

Tabulka 23. Časový rozklad navrhované operace

| Úkon | Doba [s] |
|--|----------|
| Upínání kusu – upnutí 5 kusů polotovaru do upínacího přípravku včetně jeho manipulace z ohradové palety pomocí ručního jeřábku | 360 |
| Start automatického cyklu | |
| Odjezd technologické palety do pracovního prostoru stroje | 30 |
| Výměna nástroje – Čelní jemnozubá fréza $\phi 160$ | 20 |
| Nájezd nástroje – frézy do místa řezu | 5 |
| Frézování čel polotovaru | 30 |
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Výměna nástroje - sdružený nástroj - M16 dle DIN 332 form D | 20 |
| Příjezd nástroje do místa řezu | 5 |
| Vrtání středového otvoru včetně přejezdů nástroje – 5x | 200 |
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Výměna nástroje – Softsynchro 3 se závitníkem M16 | 20 |
| Příjezd nástroje do místa řezu | 5 |
| Řezání závitu včetně přejezdů nástroje – 5x | 100 |
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Otočení technologické palety o 180° | 60 |
| Výměna nástroje – Čelní jemnozubá fréza $\phi 160$ | 20 |
| Nájezd nástroje – frézy do místa řezu | 5 |
| Frézování čel polotovaru | 30 |
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Výměna nástroje – sdružený nástroj - M20 dle DIN 332 form D | 20 |
| Příjezd nástroje do místa řezu | 5 |
| Vrtání středového otvoru včetně přejezdů nástroje – 5x | 300 |
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Výměna nástroje – Softsynchro 3 se závitníkem M20 | 20 |
| Příjezd nástroje do místa řezu | 5 |
| Řezání závitu včetně přejezdů nástroje – 5x | 80 |

| | |
|---|----------|
| Odjezd nástroje do místa pro výměnu nástrojů | 5 |
| Odjezd technologické palety do místa pro výměnu polotovaru | 30 |
| Měření závitů M16 + M20 | 120 |
| Vyjmutí kusu – vyjmutí 5 kusů polotovaru z upínacího přípravku a jeho manipulace do ohradové palety | 300 |
| Celkový čas operace pro 5 kusů – T_{CO-5} | 1820 [s] |
| Celkový čas operace pro 1 kus – T_{CO-1} | 364 [s] |

Čas stávající operace byl stanoven normováním, které v sobě zahrnuje nejen samotný čas práce, ale i čas obecně nutných přestávek a čas podmíněně nutných přestávek. Z tohoto důvodu musím čas nové technologie upravit, abychom docílili objektivního porovnání obou technologií.

Pro zjednodušení výpočtu budu tzv. celkový čas operace násobit příslušným koeficientem. Koeficienty byly získány dlouhodobou praxí mých kolegů při normování časů v technologii. Hodnoty koeficientů jsou rozděleny podle celkového času operace. Nejvyšším koeficientem se násobí celkový čas, který má nejméně minut. V našem případě se jedná o dobu cca. 5 [min]. V tomto případě je hodnota koeficientu 1,25.

$$T_O = T_{CO-N} \cdot 1,25 = 364 \cdot 1,25 = 455[s] \quad (5.22)$$

Tabulka 24. Časové porovnání

| Technologie | Doba operace - T_O |
|---|------------------------|
| Stávající technologie – „ T_{CO-S} “ | 27 [min] - 1620 [s] |
| Navrhovaná technologie – „ T_{CO-N} “ | 7,60 [min] - 455 [s] |
| Rozdíl | 19,42 [min] - 1165 [s] |

5.2 Technické vyhodnocení operace – frézování

5.2.1 Úvod

V této části budu porovnávat původní a navrhovanou časovou náročnost operace V. - frézování. Respektive se bude jednat o srovnání části této operace – hrubování drážky. Výpočtem budu demonstrovat rozdíl mezi současným a navrhovaným způsobem frézování.

5.2.2 Stávající technologie – výpočet

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 130}{\pi \cdot 16} \doteq 2587 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.23)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,065 \cdot 2587 \cdot 4 \doteq 673 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.24)$$

Délka frézování – drážka 1 „ l_{m1} “

$$l_{m1} = (l_{n1} + l_1 + l_{v1}) \cdot 2 = (5 + 517,7 + 5) \cdot 2 \doteq 1055,4 [\text{mm}] \quad (5.25)$$

Délka frézování – drážka 2 „ l_{m2} “

$$l_{m2} = (l_{n2} + l_2 + l_{v2}) \cdot 2 = (5 + 90 + 5) \cdot 2 = 200 [\text{mm}] \quad (5.26)$$

Celková délka frézování „ l_m “

$$l_m = l_{m1} + l_{m2} = 1055,4 + 200 = 1255,4 [\text{mm}] \quad (5.27)$$

Čas frézování „ T_{C-fs} “

$$T_{C-fs} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{1255,4}{673} \doteq 1,87 [\text{min}] = 112 [\text{s}] \quad (5.28)$$

5.2.3 Navrhovaná technologie frézování

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 130}{\pi \cdot 17,7} \doteq 2338 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.29)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0,085 \cdot 2338 \cdot 4 \doteq 795 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.30)$$

Délka frézování – drážka 1 „ l_{m1} “

$$l_{m1} = l_{n1} + l_1 + l_{v1} = 5 + 517,7 + 5 = 527,7[mm] \quad (5.31)$$

Délka frézování – drážka 2 „ l_{m2} “

$$l_{m2} = l_{n2} + l_2 + l_{v2} = 5 + 90 + 5 = 100[mm] \quad (5.32)$$

Celková délka frézování „ l_m “

$$l_m = l_{m1} + l_{m2} = 527,7 + 100 = 627,7[mm] \quad (5.33)$$

Čas frézování „ T_{C-fn} “

$$T_{C-fn} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{627,7}{795} \doteq 0,79[\text{min}] \doteq 48[s] \quad (5.34)$$

Tabulka 25. Časové porovnání

| Technologie | Doba operace - T_O |
|---|----------------------|
| Stávající technologie - „ T_{C-fs} “ | 1,87 [min] - 112 [s] |
| Navrhovaná technologie - „ T_{C-fn} “ | 0,80 [min] - 48 [s] |
| Rozdíl | 1,07 [min] - 64 [s] |

5.3 Technické vyhodnocení operace – soustružení

5.3.1 Úvod

Tato část bude zaměřena na porovnání technologie soustružení – hrubování VBD od firmy Mitsubishi Carbide CNMG 160608 MA jakosti UE6020 a VBD od firmy Kennametal CNMG 160612 RN jakosti KCP10.

Hřídel se hrubuje ze dvou stran dvěma nástroji PCLNL3232P16 a PCLNP3232P16. Při soustružení polotovaru hřídele na CNC stroji používáme funkci G96, která nám zajišťuje po celou dobu obrábění konstantní řeznou rychlost daného nástroje. Řezné podmínky pro úsek hrubování používáme pro oba dva nástroje shodné. Z těchto důvodů přistupuji k zjednodušení srovnání obou technologií. Při výpočtu času nástroje v řezu budu počítat s dráhou, která odpovídá součtu drah obou hrubovacích nástrojů při soustružení.

Porovnání bude demonstrováno opět pomocí jednoduchého výpočtu. Pro výpočet počtu otáček, volím průměr $\phi 125,3$. Celkový součet všech drah odpovídá hodnotě $l_m = 1890$ [mm].

5.3.2 Stávající technologie – výpočet

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 240}{\pi \cdot 125,3} \doteq 610 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.35)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_o \cdot n = 0,3 \cdot 610 \doteq 183 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.36)$$

Čas soustružení „ T_{C-ss} “

$$T_{C-ss} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{1890}{183} \doteq 10,33 [\text{min}] \doteq 619 [\text{s}] \quad (5.37)$$

5.3.3 Navrhovaná technologie – výpočet

Otáčky vřetene „ n “

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 300}{\pi \cdot 125,3} \doteq 762 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.38)$$

Rychlost posuvu „ v_f “

$$v_f = f_o \cdot n = 0,3 \cdot 762 \doteq 228,60 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.39)$$

Čas soustružení „ T_{C-sn} “

$$T_{C-sn} = \frac{l_m}{v_f} = \frac{1890}{228,6} \doteq 8,27 [\text{min}] \doteq 496 [\text{s}] \quad (5.40)$$

Tabulka 26. Časové porovnání

| Technologie | Doba operace - T_o |
|---|-----------------------|
| Stávající technologie - „ T_{C-ss} “ | 10,32 [min] - 619 [s] |
| Navrhovaná technologie - „ T_{C-sn} “ | 8,27 [min] - 496 [s] |
| Rozdíl | 2,05 [min] - 123 [s] |

5.4 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení budu počítat z upravených vnitropodnikových účtovacích sazeb jednotlivých strojů. Stanovení hodinových nákladů spadá do kompetence ekonomů jednotlivých divizí. Ti je vždy stanovují před začátkem nového roku. Stanovení hodinové účtovací sazby vychází z plánu nákladů na příslušný stroj, fondů pracovní doby člověka a stroje. Do výpočtu vstupují také náklady nevýrobních středisek příslušné divize (výdejna náradí, vedení divize atd.).

Hodnoty hodinových zúčtovacích sazeb se skládají ze třech částí:

- Člověkohodina;
- Strojohodina;
- Elektrická energie;

K vyhodnocení ekonomického přínosu budou počítat s přibližnou hodinovou sazbou 678,00 [Kč].

5.4.1 Ekonomické vyhodnocení sloučených operací II. a IV.

Příprava polotovaru na horizontálním obráběcím centru není specifickou prací pro tento stroj. Na druhou stranu se jedná o univerzální stroj, který v současné době není využitý. Tento CNC stroj nám v procesu obrábění, ale i mimo něj poskytuje řadu výhod a možných zefektivnění oproti dvěma stávajícím konvenčním strojům.

Výhody:

- Efektivnější využití nástrojů:
 - Vyšší trvanlivost nástrojů;
 - Vyšší řezné parametry obrábění;
 - Možnost využití nových progresivních nástrojů
 - Vyšší kvalita obrobene plochy

- Snížení nákladů na výrobu hřídelí
- Snížení vlivu chyby lidského faktoru
- Paletová výměna obrobků – upnutí válcového polotovaru v překrytém čase
- Stabilnější upnutí při následné operaci soustružení

Nevýhody:

- Vyšší počáteční náklady na nástroje;

Náklady současné technologie

II. operace Zarovnání, navrtání

$$N_{O-II.} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 9}{60} \doteq 101,70 [Kč] \quad (5.41)$$

IV. operace Soustružení

$$N_{O-IV.} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 18}{60} \doteq 203,40 [Kč] \quad (5.42)$$

Náklady navrhované technologie

$$N_{O-N} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 7,6}{60} \doteq 85,90 [Kč] \quad (5.43)$$

Celková úspora nákladů

$$N_U = (N_{O-II.} + N_{O-IV.}) - N_{O-N} = (101,70 + 203,40) - 85,90 = 219,20 [Kč] \quad (5.44)$$

5.4.2 Ekonomické vyhodnocení operace frézování

Pro zefektivnění operace frézování rovinných drážek o $\phi 18P9$ jsem použil speciální hrubovací frézu Multi Jet Cut o $\phi 17,7$ [mm]. Pomocí tohoto nástroje jsme ušetřili polovinu dráhy, kterou musí současný nástroj při hrubování drážky odjet.

Náklady na hrubování současným nástrojem – fréza $\phi 16$

$$N_{O-\phi 16} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 1,85}{60} \doteq 21,00 [Kč] \quad (5.45)$$

Náklady na hrubování navrhovaným nástrojem – fréza $\phi 17,7$

$$N_{O-\phi 17,7} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 0,80}{60} \doteq 9,10 [Kč] \quad (5.46)$$

Celková úspora nákladů – frézování - hrubování

$$N_U = N_{O-\phi 16} - N_{O-\phi 17,7} = 21,00 - 9,10 = 11,90 [Kč] \quad (5.47)$$

5.4.3 Ekonomické vyhodnocení operace soustružení

V této operaci jsme nahradili současnou vyměnitelnou destičku Mitsubishi CNMG 160608 – MA s jakostí UE 6020, destičkou Kenametal CNMG 160612 s jakostí KCP10. Při zachování stejné hloubky třísky $a_p = 4$ [mm] a posuvu $f = 0,3$ [mm.ot⁻¹], jsme dokázali hřídel soustružit vyšší řeznou rychlostí při zachování trvanlivosti nástroje.

Náklady na hrubování současným nástrojem VBD – CNMG 160608-MA – UE6020

$$N_{O-MIT.} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 10,4}{60} \doteq 117,60 [Kč] \quad (5.48)$$

Náklady na hrubování navrhovaným nástrojem VBD – CNMG 160612-RN – KCP10

$$N_{O-KEN} = \frac{N_{úvs} \cdot T_O}{60} = \frac{678 \cdot 8,30}{60} \doteq 93,80 [Kč] \quad (5.49)$$

Celková úspora nákladů – soustružení, hrubování

$$N_U = N_{O-MIT} - N_{O-KEN} = 117,60 - 93,80 = 23,80 [Kč] \quad (5.50)$$

5.5 Zhodnocení technicko - ekonomického přínosu

V současné době dodáváme desítky kusů typově shodných hřídelí týdně. Doba mezi zadáním objednávky zákazníka a expedicí hotových hřídelí je poměrně krátká. S ohledem na časovou náročnost výroby hřídele je i malá časová úspora pro nás jako dodavatele důležitá. Zvyšuje nám tak naši reakční dobu. Současně nám umožňuje snížit cenu výrobku a zároveň zvýšit naši konkurenceschopnost na trhu.

Technickým přínosem je efektivnější využití moderních progresivních nástrojů při současném zvýšení kvality opracování a jakosti obrobení ploch.

Průměrně za celý rok dodáme až 7000 kusů. Sortiment hřídelí obsahuje celkem 40 typů, které se od sebe liší pouze délkově a to v rozmezí maximálně 300 [mm], přičemž celková délka hřídelí je do 1200 [mm]. Z tohoto důvodu mohu vypočítat celkové roční úspory, které se od reálného stavu budou lišit jen minimálně.

Tabulka 27. Souhrn – časová bilance

| Operace | Úspora |
|---|---------------|
| Sdružené operace | 1165 [s] |
| Frézování | 64 [s] |
| Soustružení | 123 [s] |
| Úspora času na strojní práci za 1 kus | 1352 [s] |
| Přibližná úspora času na strojní práci za 1 rok při dodávce 7000 kusů hřídelí | 2628,90 [hod] |

Tabulka 28. Souhrn – cenová bilance

| Operace | Úspora |
|--|-------------------|
| Sdružené operace | 219,20 [Kč] |
| Frézování | 11,90 [Kč] |
| Soustružení | 23,80 [Kč] |
| Úspora nákladů na strojní práci za 1 kus | 254,90 [Kč] |
| Přibližná úspora nákladů na strojní práci za 1 rok při dodávce 7000 kusů hřídelí | 1 784 300,00 [Kč] |

Závěr

Diplomová práce byla vypracována na téma: „Zefektivnění výroby obrábění hřídelí elektrických generátorů v podmínkách OSTROJ a.s.“ V rámci stanoveného rozsahu Diplomové práce jsem v jednotlivých bodech provedl:

1. Přehled současného stavu obrábění hřídelí elektrických generátorů

V tomto bodě jsem představil zástupce hřídelí včetně technologického postupu výroby.

2. Teoretické zákonitosti třískového obrábění a jejich respektování

Tato kapitola byla především zaměřena na způsoby opotřebení nástrojů a jejich vlivu na trvanlivost bříty. Dále jsem se specializoval na obrobitelnost, řezivost a výpočet trvanlivosti.

3. Efektivní využívání současných řezných nástrojů

V této pasáži jsem probral vysokorychlostní obrábění – HSC. Součástí kapitoly jsou všeobecné podmínky, které úzce souvisí s tímto způsobem obrábění.

4. Návrh progresivní technologie obrábění hřídelí elektrických generátorů

Zefektivnění výroby hřídelí bylo dosaženo:

- Změnou technologického postupu – sloučením II. a IV. operace do operace jedné a současně nahrazením dvou konvenčních strojů strojem vyšší generace s CNC řízením;
- Nahrazení hrubovací frézy $\phi 16$ Multi Jet, hrubovací frézou $\phi 17,7$ Multi Jet od firmy Emuge Franken;
- Využitím efektivnějšího hrubovacího soustružnického plátku od firmy Kennametal CNMG 160612 RN jakostí KCP10;

5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

Při výpočtu ekonomického vyhodnocení jsem z důvodu utajení vnitřních informací pracoval s přibližnými hodnotami hodinových sazeb.

Celkové zhodnocení navrhovaného řešení je uvedeno v této části Diplomové práce. Podotýkám, že ve výpočtech by se dalo pokračovat, avšak výsledek by stále více vypovídal ve prospěch nových progresivních technologií.

Diplomová práce

Vypracovaná studie ukazuje efektivnost navrhovaných nástrojů a nových technologií. Současný trend vývoje je v neustálém předstihu před realitou, z čehož jasně vyplývá, že jsou zde neustále možnosti, jak zvýšit efektivitu výroby hřidelí.

Seznam použité literatury

Tištěná literatura

- [1] BRYCHTA, J., *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Editační středisko VŠB–TU Ostrava, 2009, s. 150. ISBN 978-80-248-1893-1
- [2] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] SANDVIK COROMANT. *Technická příručka*. Sandviken: Elanders Švédsko, 2010. s. 804.
- [4] EMUGE. *Technické informace ke kompletnímu katalogu*. Lauf: Emuge SRN, 2010. s. 200.
- [5] ADIS., *Vysokorychlostní obrábění – klíč k vyšší produktivitě*. *MM Průmyslové spektrum*, 2010, roč. 12, č. 3, s.46. ISSN 1212-2572.

Elektronické zdroje

- [6] OSTROJ [online]. [cit 15. března 2011]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/>
- [7] ISCAR [online]. [cit 15. dubna 2011]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/>
- [8] SECO [online]. [cit 15. dubna 2011]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/>
- [9] KENNAMETAL [online]. [cit 20. dubna 2011].
Dostupné z: <http://www.kennametal.com/>
- [10] MITSUBISHI CARBIDE [online]. [cit 20. dubna 2011].
Dostupné z: <http://www.mitsubishicarbide.com/>
- [11] EMUGE-FRANKEN [online]. [cit 15. května 2011].
Dostupné z: <http://www.emugefranken.cz/>

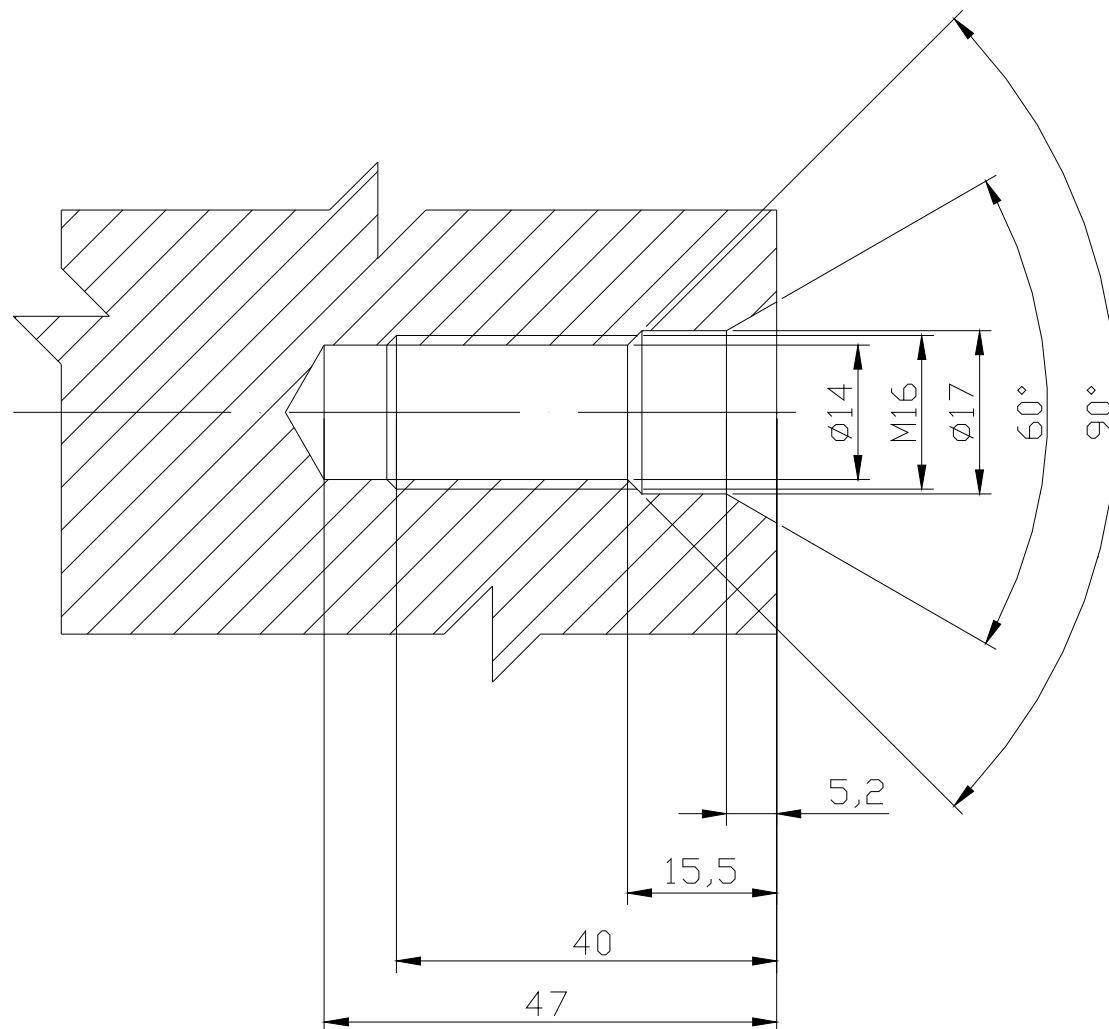
Seznam příloh

- A – Výkres součásti;
- B – Výkres středového otvoru M16 dle DIN 332 form D;
- C – Schéma středového otvoru M20 dle DIN332 form D;
- D – Pracovní prostor stroje MCFHD 80 PVS;
- E – Schéma upnutí polotovaru na stroji MCFHD 80PVS;

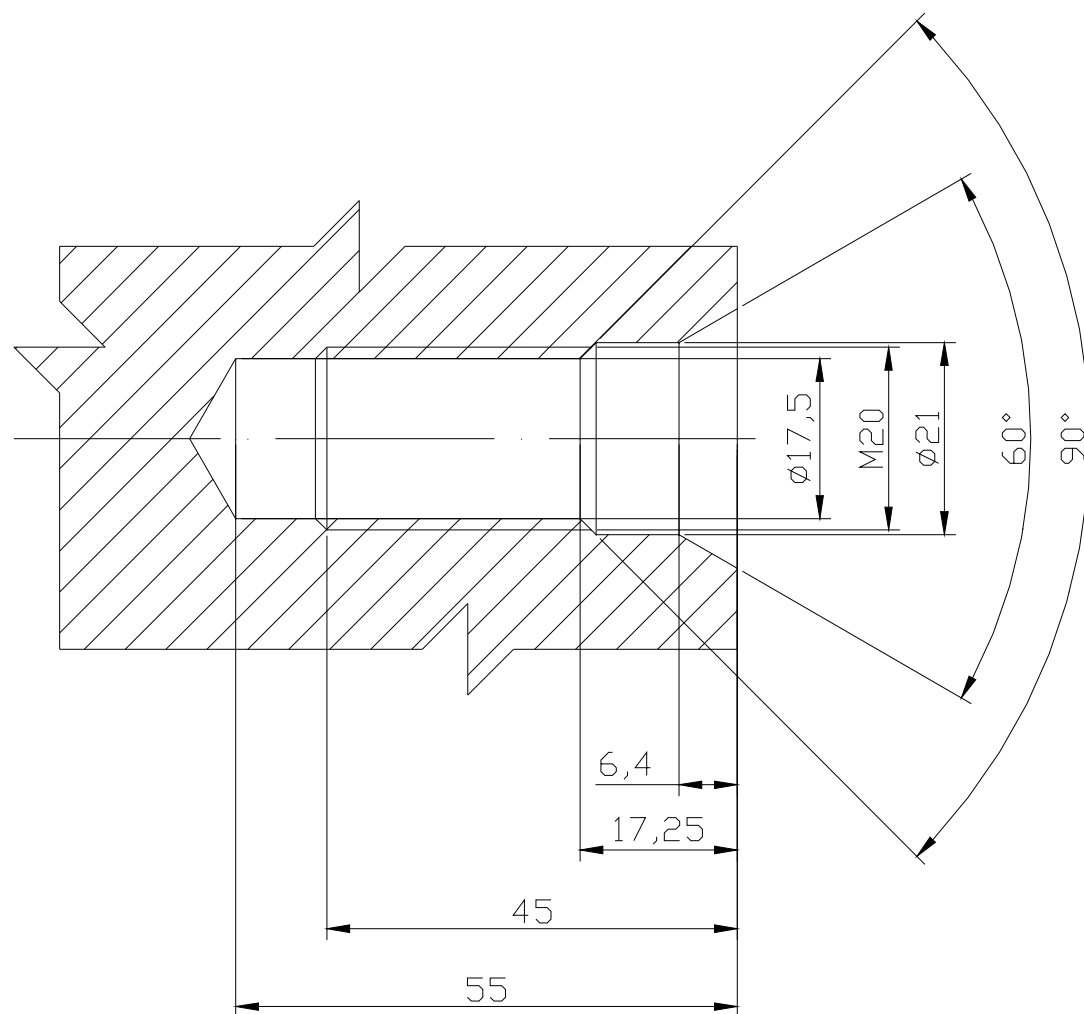
Technical drawing of a mechanical part, likely a shaft or tube, showing a side view with dimensions and cross-sections A-A and B-B. The side view includes dimensions for diameters (e.g., 106, 104, 100, 140, 140, 100, 100), lengths (e.g., 190, 506, 110, 220), and various tolerances. Cross-section A-A shows a circular profile with a diameter of 118.2 and a tolerance of 0.1. Cross-section B-B shows a circular profile with a diameter of 93.2 and a tolerance of 0.1. A 3D perspective view of the part is shown at the bottom right. A table at the bottom right contains technical specifications and standards.

| Výrobek | | Výrobní číslo | | | | | | | | | |
|---------|--|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Číslo | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 3 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 5 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 6 | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 7 | | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 8 | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 9 | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 10 | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

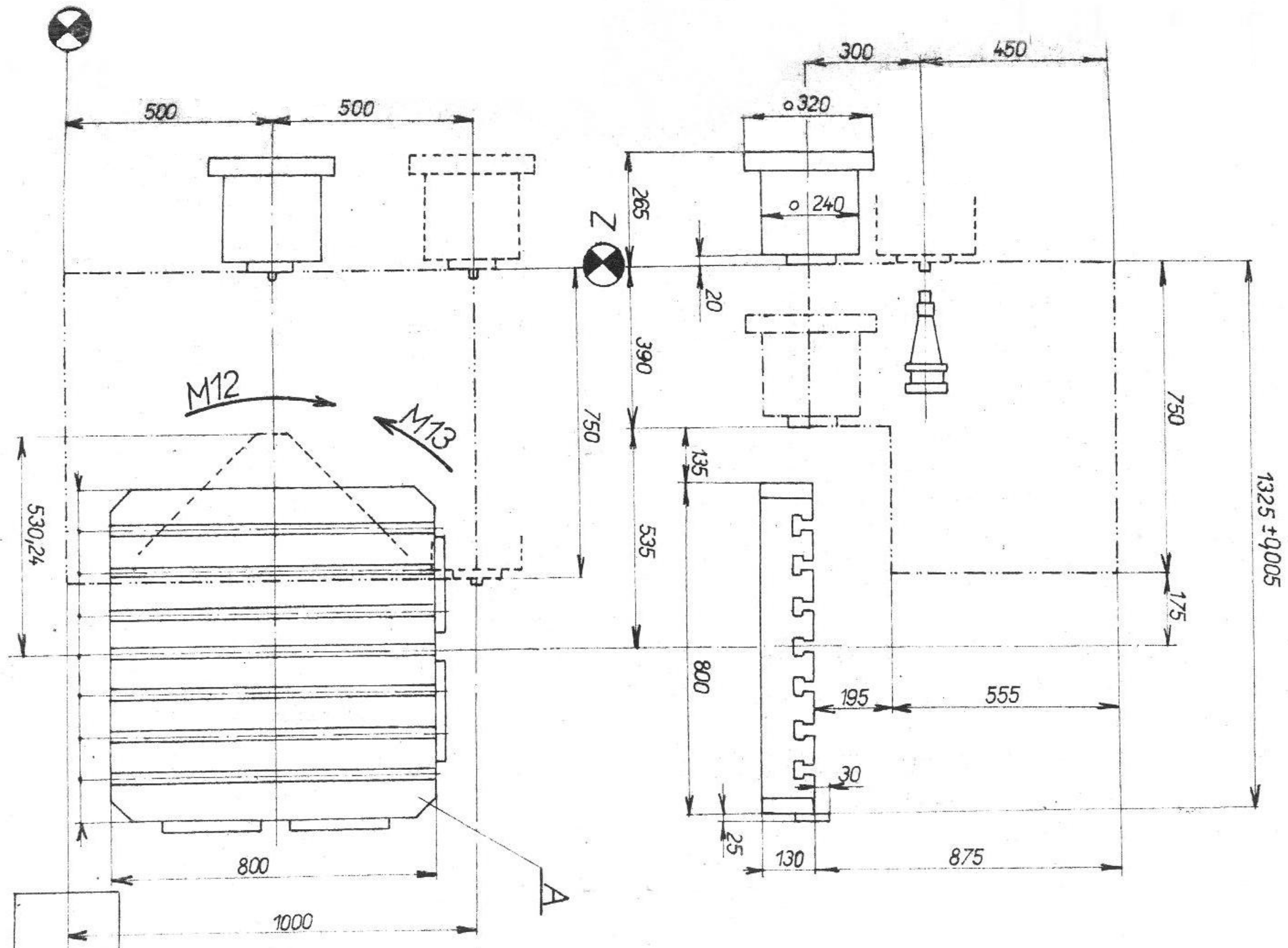
Příloha B. – Středový otvory M16 dle DIN 332 Form D



Příloha C. – Středový otvory M20 dle DIN 332 Form D



Příloha D. – Pracovní prostor stroje MCFHD 80 PVS



Příloha E. – Schéma upnutí na stroji MCFHD 80 PV

